Actividad 11. Apocalipsis Zombie

Rosa Luz Zamora Peinado

Mayo de 2016

Introducción

Figura 1: Zombies.

Un “zombie“ es el término asociado a una persona infectada por un virus de algún tipo, comúnmente una infección que reposa el cerebro y apaga los sistemas internos de la víctima, o de alguna otra manera, se convierte en un muerto viviente. Después de que la mutación ocurre la víctima ya no es una persona, en su lugar, es un cadaver sin cerebro arrastrando los pies sin sentido con un hambre insaciable de carne. En las versiones contemporáneas, los zombies son generalmente reanimados o cadáveres no muertos. Las historias sobre zombies son tan antiguas como la raza humana, con menciones en la obra literaria más antigua conocida: the Epic of Gilgamesh. Por otra parte, los zombies pueden ser consideréados como la existencia de vida después de la muerte [**2**].

Intimamente ligada al concepto de zombie moderno es el .ªpocalipsis zombie”; la ruptura de la sociedad como resultado de un brote zombie inicial que se propaga. Este arquetipo se ha convertido en un subgénero polífico de la ficción apocalíptic y se ha retratado en muchos medios de comunicaicón relacionados con zombies después de Night of the Living Dead (La noche de los muertos vivientes). en un apocalipsis zombie, un aumento generalizado, (usualmente global) de zombies engancha la vida humana en un asalto general sobre la civilización. Las víctimas de los zombies pueden convertirse en zombies. Esto hace que el brote se convierta en una crisis de crecimiento exponencial: el fenómeno inunda las organizaciones militares y policiales normales, quedando aislados los supervivientes, hurgando en busca de alimentos y suministros en un mundo reducido a un pre-industrial desierto hostil [**3**].

En esta actividad se utilizó un modelo de apocalipsis zombie de SciPy CookBook[**4**] con un código base de la resolución de ecuaciones diferenciales, y un articulo de canadienses que crean modelos matemáticos para seis situaciones que se implementan en el código y se presentan más adelante.

Para hablar de cada una de las situaciones será necesario hacer una introducción a la nomenclatura de las variables y/o parámetros utilizados. Así como un desarrollo de las diferentes situaciones estudiadas. Al final se muestran los códigos utilizados.

Modelo básico

Para el modelo base se utilizan 3 clases básicas:

- **S** (suceptibles)
- **R** (Removidos)
- **Z** (zombie)

Los suceptibles pueden morir por causas naturales, (muerte no relacionada con zombies) $\Rightarrow$ parámetero δ .Los removidos pueden morir por ataque zombie o por causa natural. Pueden resucitar y convertirse en zombies) $\Rightarrow$ parámetero ζ. Los suceptibles pueden convertirse en zombies mediante la transmisión por un encuentro con un zombie $\Rightarrow$ parámetro β. Solamente los humanos se pueden infectar por contacto zombies y los zombies solo desean carne humana. Así que, no se consideran otras formas de vida en el modelo. Los nuevos zombies vienen de dos fuentes:

- Removidos que resucitaron en forma de zombie.
- Suceptibles que perdieron en un encuentro con un zombie.

Podemos ver al modelo como:

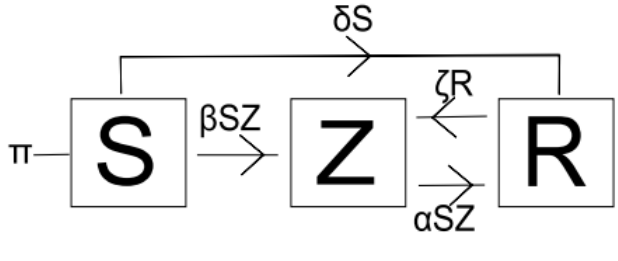

Figura 2: Esquema de modelo básico de apocalipsis zombie [**5**].

Además suponemos que la tasa de natalidad es una constante Π. Los zombies se mueven a la clase de eliminados al ser derrotados. Esto se puede hacer mediante la eliminación de la cabeza o la destrucción del cerebro de el zombie (parámetro α).

También suponemos que los zombies no atacan a otros zombis. Las ecuaciones que satisfacen al modelo básico son:

$$S' = \Pi - \beta SZ - \delta S$$
$$Z' = \beta SZ + \zeta R - \alpha SZ$$
$$R' = \delta S + \alpha SZ - \zeta R$$

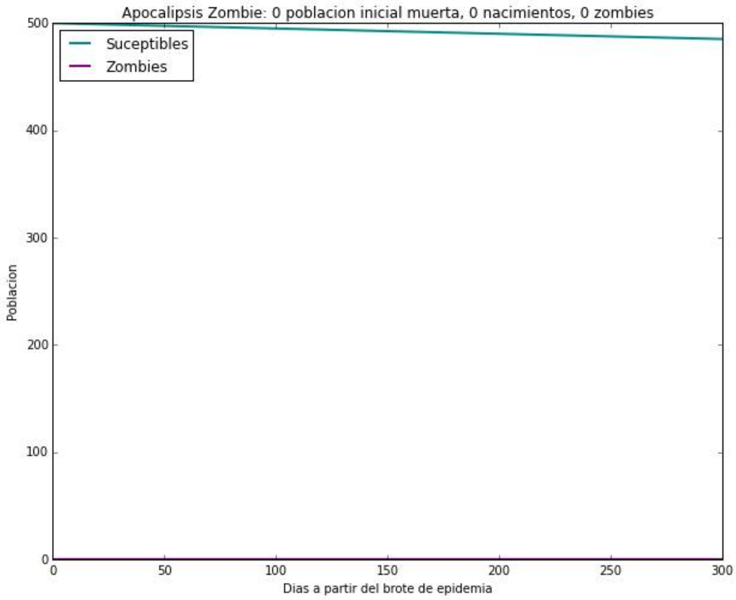

Figura 3: Modelo básico con 0 zombies. Es posible ver cómo la población de suceptibles disminuye solo por causas naturales.

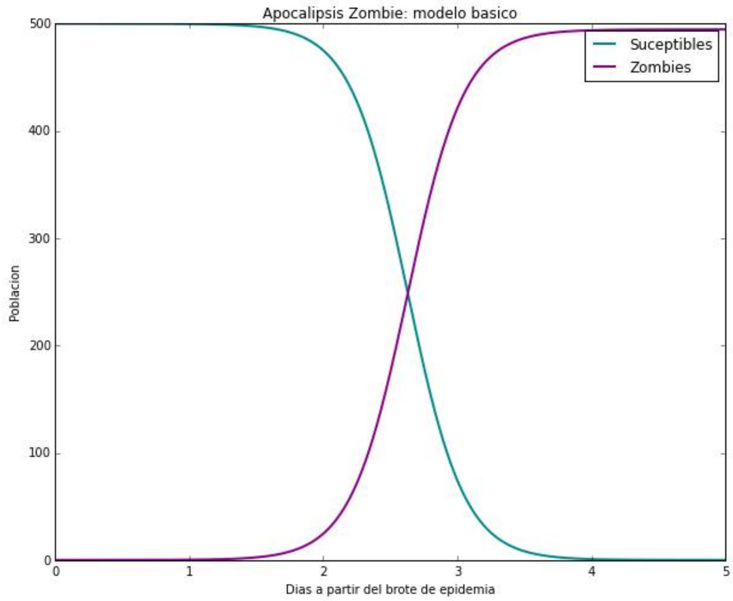

Figura 4: Modelo básico. Los susceptibles son erradicados rápidamente mientras la población zombie crece y crece.

Modelo con Infección Latente
Ahora se incluirá una clase latente de individuos infectados. Resulta que hay un periodo de tiempo de aproximadamente 24 horas después de que el ser suceptible es mordido antes de sucumbir a la herida y convertirse en zombie. De esta manera, se extiende el modelo básico para incluír un factor más realista: la posibilidad de que un susceptible se infecte antes de sucumbir a la zombificación. Los cambios en el modelo básico incluyen:

- Los susceptibles se mueven a una clase Infectado I y permanece allí por algún tiempo.
- Las personas infectadas todavía pueden morir de muerte "natural" antes de convertirse en un zombie; de otra manera, se convierten en un zombie.

Podemos ver a este modelo de infección latente como:

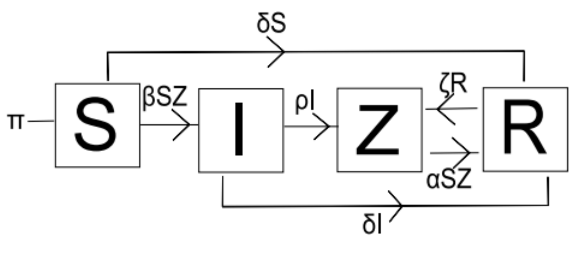

Figura 5: Esquema de modelo con infección latente [**5**].

Y las ecuaciones correspondientes a este nuevo modelo son:

$$S' = \Pi - \beta SZ - \delta S$$

$$I' = \beta SZ - \rho I - \delta I$$
$$Z' = \rho I + \zeta R - \alpha SZ$$
$$R' = \delta S + \delta I \alpha SZ - \zeta R$$

donde ρ es el parámetro qué indica la cantidad de infectados que se convierten en zombies.

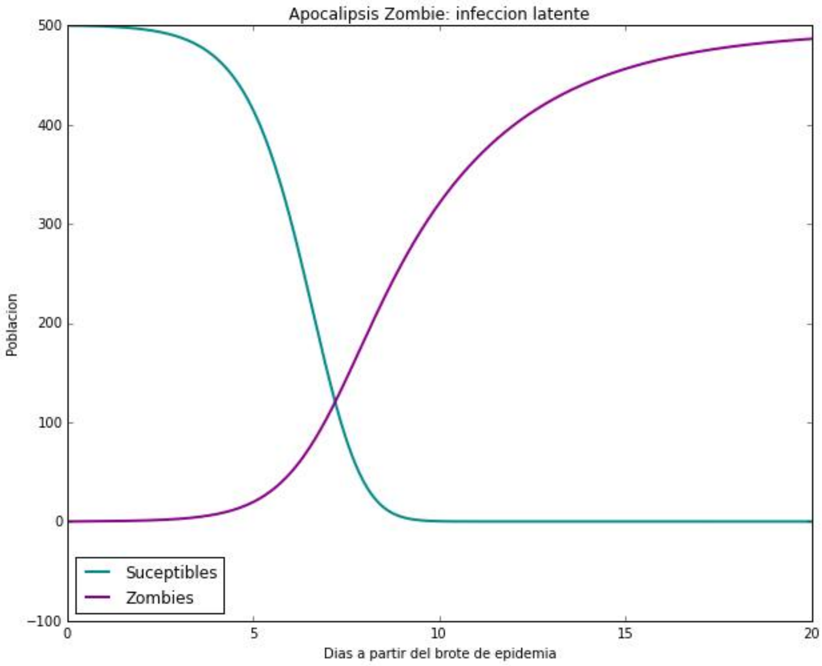

Figura 6: Modelo con infección latente.

Modelo con cuarentena

Ahora, con el fin de detener el brote, se toma un modelo en el que se incluye una cuarentena parcial de zombies. En este modelo se supone que todo individuo en cuarentena se elimina de la población y no puede infectar a nuevas personas siempre que se mantenga en cuarentena. Los cambios al modelo anterior incluyen:

- La población en cuarentena Q solo contiene miembros de las poblaciones infectadas I o de zombies Z (entrando a tasas κ y σ respectivamente).
- Existe la posibilidad de que algunos miembros traten de escapar, pero cualquiera que intente será aniquilado antes de encontrar su libertad (parámetro γ)
- Estos individuos muertos entran a la clase Removido R y más tarde pueden llegar a ser reanimados y convertirse en zombies.

El esquema de este modelo es el siguiente:

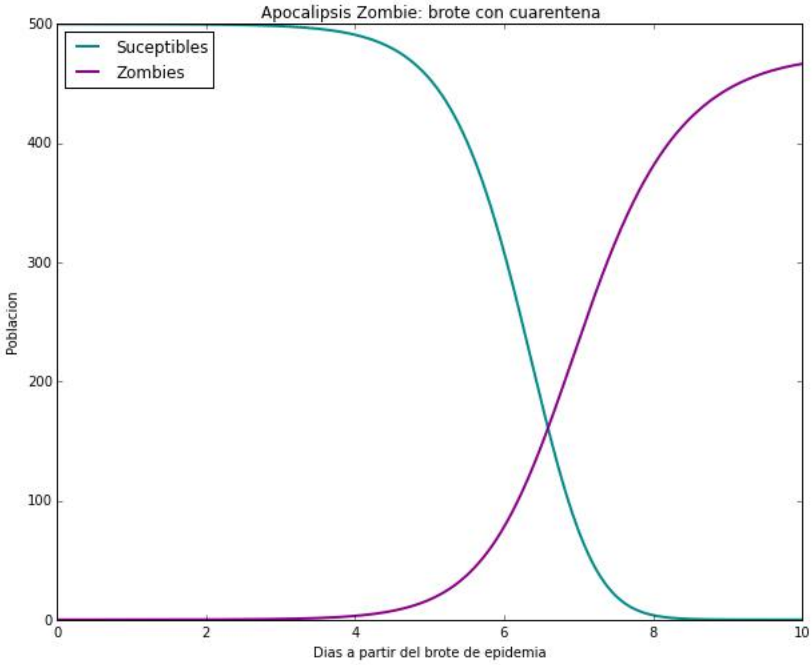

Figura 8: Modelo con cuarentena.

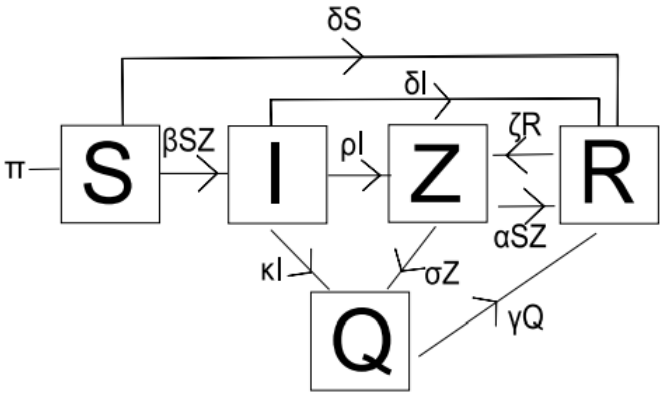

Figura 7: Esquema de modelo con cuarentena [**5**].

Y sus ecuaciones son:

$$
\begin{aligned}
S' &= \Pi - \beta SZ - \delta S \\
I' &= \beta SZ - \rho I - \delta I - \kappa I \\
Z' &= \rho I + \zeta R - \alpha SZ - \sigma Z \\
R' &= \delta S + \delta I + \alpha SZ - \zeta R + \gamma Q \\
Q' &= \kappa I + \sigma Z - \gamma Q
\end{aligned}
$$

Modelo con tratamiento

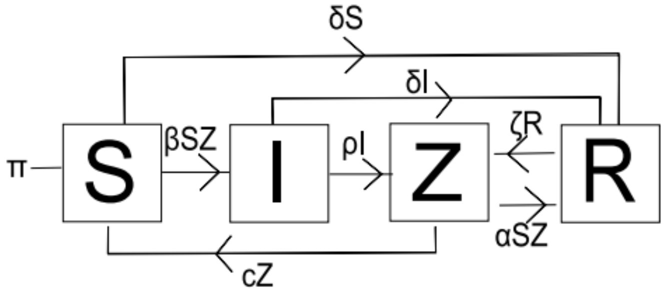

Figura 9: Esquema de modelo con tratamiento [**5**].

Ahora, supongamos que somos capaces de producir una cura para la zombificación. Nuestro tratamiento sería capaz de permitir al individuo zombie regresar a ser un ser humano de nuevo, es decir, un susceptible. Una vez humano, sin embargo, será de nuevo un susceptible a convertirse en zombie; por lo tnato, nuestra cura no proporciona inmunidad. Esos zombies que resuciten de los muertos y que reciben el tratamiento también serán capaces de regresar a la vida y vivir cómo lo hacían antes de ser Removidos R. Ls cosas que se deben considerar incluyen:

- Ahora que tenemos tratamiento, no necesitamos cuarentena.
- La cura permitirá a los zombies volver a su forma humana natural, inemendientemente de cómo se convirtieron en zombies anteriormente.
- Cualquier zombie curado vuelve a ser susceptible de nuevo, la cura no proporciona inmunidad.

Se sigue entonces, un esquema como el siguiente:

Las ecuaciones que siguen el modelo mencionado son:

$$S' = \Pi - \beta SZ - \delta S + cZ$$

$$I' = \beta SZ - \rho I - \delta I$$

$$Z' = \rho I + \zeta R - \alpha SZ - cZ$$

$$R' = \delta S + \delta I + \alpha SZ - \zeta R$$

Ahora, se presentan los códigos para obtener las gráficas de las figuras 3, 4, 6, 8 y 10 respectivamente:

1. Modelo Básico (0 zombies)

```
#MODELO DE APOCALIPSIS ZOMBIE
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
plt.ion()
plt.rcParams['figure.figsize'] = 10, 8
```

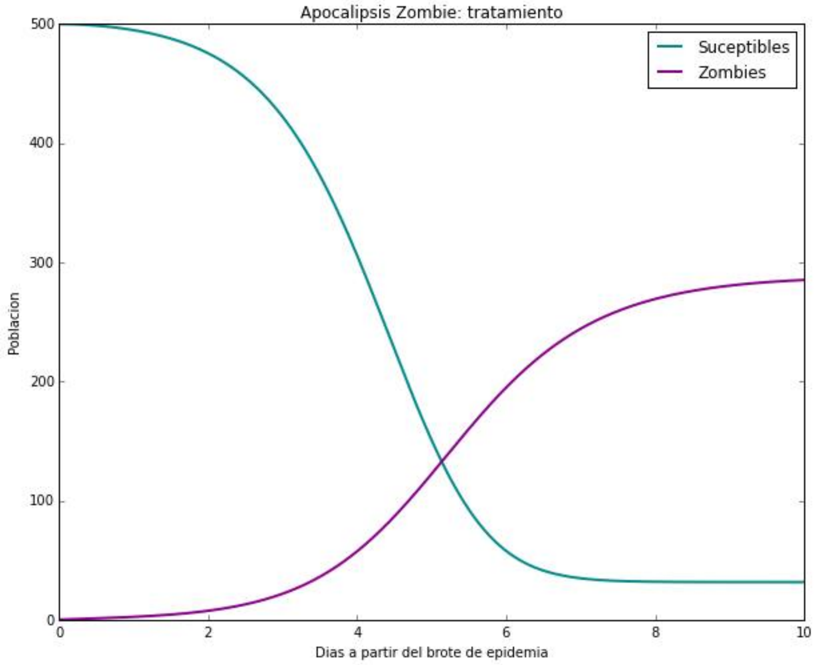

Figura 10: Modelo con tratamiento.

```
P = 0           # Taza de nacimiento
d = 0.0001  # porcentaje de muerte natural (por día)
B = 0.0000  # porcentaje de transmisión  (por día)
G = 0.0001  # porcentaje de resurrección (por día)
A = 0.0005  # porcentaje de destrucción  (por día)

# Resolver el sistema dy/dt = f(y, t)
def f(y, t):
    Si = y[0]
    Zi = y[1]
    Ri = y[2]
 # Ecuaciones del modelo
    f0 = P - B*Si*Zi - d*Si
    f1 = B*Si*Zi + G*Ri - A*Si*Zi
    f2 = d*Si + A*Si*Zi - G*Ri
    return [f0, f1, f2]

# condiciones iniciales
S0 = 500.                    # población inicial
Z0 = 0                       # población zombie inicial
R0 = 0                       # población muerta inicial
y0 = [S0, Z0, R0]    # vector condiciones iniciales
t  = np.linspace(0, 300., 1000)       # tiempo

# resolviendo las ecuaciones diferenciales ordinarias
```

```
soln = odeint(f, y0, t)
S = soln[:, 0]
Z = soln[:, 1]
R = soln[:, 2]

# gráfica de apocalipsis zombie con 0 zombies
plt.figure()
plt.plot(t, S, "darkcyan",linewidth=2, label='Suceptibles')
plt.plot(t, Z, "darkmagenta",linewidth=2, label='Zombies')
plt.xlabel('Dias a partir del brote de epidemia')
plt.ylabel('Poblacion')
plt.title('Apocalipsis Zombie: 0 poblacion inicial muerta, 0 nacimientos, 0
plt.legend(loc=0)
```

2. Modelo Básico

```
# APOCALIPSIS ZOMBIE (MODELO BÁSICO)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
plt.ion()
plt.rcParams['figure.figsize'] = 10, 8

P = 0           # taza de nacimientos
d = 0.0001      # porcentaje de muerte natural (por día)
B = 0.0095      # porcentaje de transmisión (por día)
G = 0.0001      # porcentaje de resurrección (por día)
A = 0.0001      # porcentaje de destrucción (por día)

# Resolver el sistema dy/dt = f(y, t)
def f(y, t):
    Si = y[0]
    Zi = y[1]
    Ri = y[2]
 # Ecuaciones del modelo
    f0 = P - B*Si*Zi - d*Si
    f1 = B*Si*Zi + G*Ri - A*Si*Zi
    f2 = d*Si + A*Si*Zi - G*Ri
    return [f0, f1, f2]

# condiciones iniciales
S0 = 500.                       # población inicial
Z0 = 0                          # población zombie inicial
R0 = 100                        # población muerta inicial
y0 = [S0, Z0, R0]               # vector condiciones iniclaes
t  = np.linspace(0, 5., 1000)   # tiempo
```

```
# resolviendo las ecuaciones diferenciales ordinarias
soln = odeint(f, y0, t)
S = soln[:, 0]
Z = soln[:, 1]
R = soln[:, 2]

# gráfica del modelo básico de apocalipsis zombie
plt.figure()
plt.plot(t, S, "darkcyan",linewidth=2, label='Suceptibles')
plt.plot(t, Z, "darkmagenta",linewidth=2, label='Zombies')
plt.xlabel('Dias a partir del brote de epidemia')
plt.ylabel('Poblacion')
plt.title('Apocalipsis Zombie: modelo basico')
plt.legend(loc=0)
```

3. Modelo con Infección Latente

```
# MODELO APOCALIPSIS ZOMBIE (INFECCIÓN LATENTE)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
plt.ion()
plt.rcParams['figure.figsize'] = 10, 8

P = 0           # taza de nacimiento
d = 0.0001  # porcentaje de muerte (por día)
B = 0.0095  # porcentaje de transmisión  (por día)
G = 0.0001  # porcentaje de resurrección (por día)
A = 0.0001  # porcentaje de destrucción  (por día)
rho = 0.3   # porcentaje de transformación (por día)

# Resolver el sistema dy/dt = f(y, t)
def f(y, t):
    Si = y[0]
    Ii = y[1]
    Zi = y[2]
    Ri = y[3]

 # Ecuaciones del modelo
    f0 = P - B*Si*Zi - d*Si
    f1 = B*Si*Zi - rho*Ii - d*Ii
    f2 = rho*Ii + G*Ri - A*Si*Zi
    f3 = d*Si + d*Ii + A*Si*Zi - G*Ri
    return [f0, f1, f2, f3]

# condiciones iniciales
S0 = 500.                  # población inicial
```

```
I0 = 1.                     # población infectada inicial
Z0 = 0.                     # población zombie inicial
R0 = 0.                     # población muerta inicial

y0 = [S0, I0, Z0, R0]   # vector condiciones iniciales
t  = np.linspace(0, 20, 1000)       # tiempo

# resolviendo las ecuaciones diferenciales ordinarias
soln = odeint(f, y0, t)
S = soln[:, 0]
I = soln[:, 1]
Z = soln[:, 2]
R = soln[:, 3]


# gráfica de apocalipsis zombie con infección latente
plt.plot(t, S, "darkcyan",linewidth=2, label='Suceptibles')
plt.plot(t, Z, "darkmagenta",linewidth=2, label='Zombies')
plt.xlabel('Dias a partir del brote de epidemia')
plt.ylabel('Poblacion')
plt.title('Apocalipsis Zombie: infeccion latente')
plt.legend(loc=0)
```

4. Modelo con Cuarentena

```
# MODELO APOCALIPSIS ZOMBIE (CUARANTENA)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
plt.ion()
plt.rcParams['figure.figsize'] = 10, 8

P = 0           # taza de nacimiento
d = 0.0001  # porcentaje de muerte natural (por día)
B = 0.0095  # porcentaje de transmisión  (por día)
G = 0.0001  # porentaje de resurrección (por día)
A = 0.0001  # porcentaje de destrucción  (por día)
rho=1       # porcentaje de transformación
k=0.001     # porcentaje de infectados a cuarentena
sigma=0.009 # porcentaje de zombies a cuarentena
Ga=0.004    # porcentaje de muertos en cuarentena


# Resolver el sistema dy/dt = f(y, t)
def f(y, t):
    Si = y[0]
    Ii = y[1]
```

```
    Zi = y[2]
    Ri = y[3]
    Qi = y[4]
 # Ecuaciones del modelo
    f0 = P - B*Si*Zi - d*Si
    f1 = (B*Si*Zi)-(rho*Ii)-(d*Ii)-(k*Ii)
    f2 = (rho*Ii) + (G*Ri)-(A*Si*Zi)-(sigma*Zi)
    f3 = (d*Si) + (d*Ii) + (A*Si*Zi)-(G*Ri)+(Ga*Qi)
    f4 = (k*Ii)+(sigma*Zi)-(Ga*Qi)

    return [f0, f1, f2, f3, f4]

# condiciones iniciales
S0 = 500.                 # población inicial
Z0 = 0.                    # población zombie inicial
R0 = 0.                    # población muerta inicial
I0 = 100.                  # población infectada inicial
Q0 = 130.                  # población en cuarentena inical
y0 = [S0, Z0, R0, I0, Q0]   # vector condiciones iniclaes
t  = np.linspace(0, 10., 1000)       # tiempo

# resolviendo las ecuaciones diferenciales ordinarias
soln = odeint(f, y0, t)
S = soln[:, 0]
I = soln[:, 1]
Z = soln[:, 2]
R = soln[:, 3]
Q = soln[:, 4]

# gráfica del apocalipsis zombie (cuarentena)
plt.figure()
plt.plot(t, S, "darkcyan",linewidth=2, label='Suceptibles')
plt.plot(t, Z, "darkmagenta",linewidth=2, label='Zombies')
plt.xlabel('Dias a partir del brote de epidemia')
plt.ylabel('Poblacion')
plt.title('Apocalipsis Zombie: brote con cuarentena')
plt.legend(loc=0)
```

5. Modelo con Tratamiento

```
#MODELO DE APOCALIPSIS ZOMBIE (Tratamiento)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint
plt.ion()
plt.rcParams['figure.figsize'] = 10, 8
```

```
P = 0           # taza de nacimiento
d = 0.0001  # porcentaje de muerte (por día)
B = 0.0095  # porcentaje de transmisión  (por día)
G = 0.0001  # porcentaje de resurrección (por día)
A = 0.0001  # porcentaje de destrucción  (por día)

d = 0.0001  # natural death percent (per day)
B = 0.0095  # transmission percent  (per day)
G = 0.0001  # resurect percent (per day)
A = 0.0001  # destroy percent  (per day)
rho = 0.5   # porcentaje de transformación (por día)
c = 0.3

# Resolver el sistema dy/dt = f(y, t)
def f(y, t):
    Si = y[0]
    Ii = y[1]
    Zi = y[2]
    Ri = y[3]

 # Ecuaciones del modelo
    f0 = P - B*Si*Zi - d*Si + c*Zi
    f1 = B*Si*Zi - rho*Ii - d*Ii
    f2 = rho*Ii + G*Ri - A*Si*Zi - c*Zi
    f3 = d*Si + d*Ii + A*Si*Zi - G*Ri
    return [f0, f1, f2, f3]

# condiciones iniciales
S0 = 500.                 # población inicial
I0 = 5.                   # población infectada inicial
Z0 = 0.                   # población zombie inicial
R0 = 0.                   # población muerta inicial

y0 = [S0, I0, Z0, R0]   # initial condition vector
t  = np.linspace(0, 10, 1000)       # time grid

# resolviendo las ecuaciones diferenciales ordinarias
soln = odeint(f, y0, t)
S = soln[:, 0]
I = soln[:, 1]
Z = soln[:, 2]
R = soln[:, 3]


# gráfica de apocalipsis zombie con tratamiento
plt.plot(t, S, "darkcyan",linewidth=2, label='Suceptibles')
```

```
plt.plot(t, Z, "darkmagenta",linewidth=2, label='Zombies')
plt.xlabel('Dias a partir del brote de epidemia')
plt.ylabel('Poblacion')
plt.title('Apocalipsis Zombie: tratamiento')
plt.legend(loc=0)
```

[**1**] Física Computacional(2016-2) *Actividad 11*. Recuperado en abril de 2016 de http://computacional1.pbworks.com/w/page/107502219/Actividad%2011%20(2016-1)

[**2**] Zombiepedia *Zombies*. Recuperado en abril de 2016 de http://zombie.wikia.com/wiki/Zombies

[**3**] Wikipedia *Zombie* .Recuperado en abril de 2016 de https://en.wikipedia.org/wiki/Zombie#Zombie_apocalypse

[**4**] SciPyCookbook *Modeling a Zombie Apocalypse*. Recuperado en abril de 2016 de http://scipy-cookbook.readthedocs.io/items/Zombie_Apocalypse_ODEINT.html

[**5**] Munz, Hudea, Iman, Smith *When Zombies atack!: Mathematical modeling of an outbreak zombie infection*. Recuperado en abril de 2016 de http://mysite.science.uottawa.ca/rsmith43/Zombies.pdf