Modelación de propagación de epidemias

Eduardo Cepeda, PhD

Alianza Francesa, Cuenca

Jueves 6 de Enero 2022

Datos interesantes de la pandemia

- Propagación inicial – exponencial
- Por qué es pandemia y no epidemia?
- Actos no farmacéuticos
- Vacunas / tratamientos
- Modelo SIR*
- Qué enfermedades han sido modelizadas
- Olas de contagios

- Kermack, W; McKendrick, A (1991). "Contributions to the mathematical theory of epidemics – I". *Bulletin of Mathematical Biology*. **53** (1–2): 33–55.

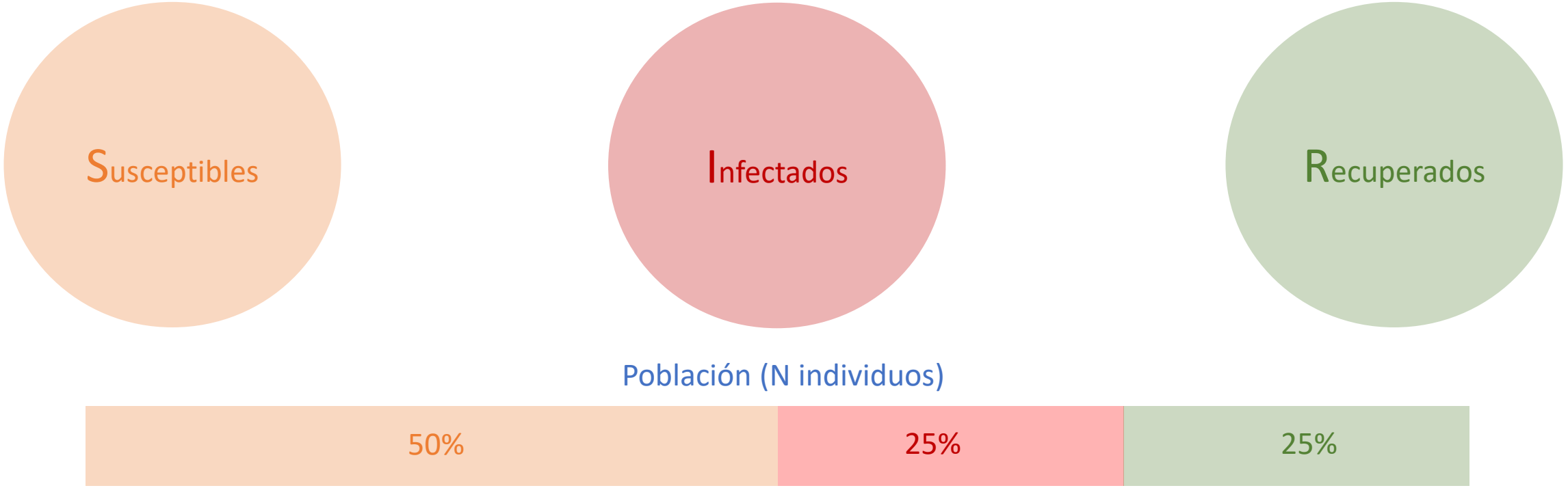
SIR

Susceptible – Infectado – Recuperado

SIR: DINÁMICA

SIR: DINÁMICA

SIR: DINÁMICA

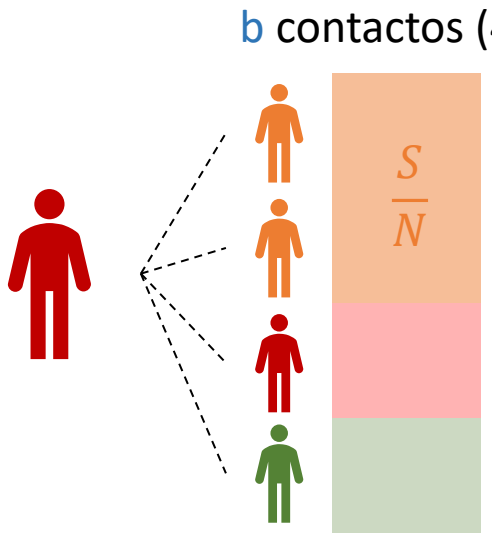


SIR: DINÁMICA

Susceptibles

Infectados

Recuperados



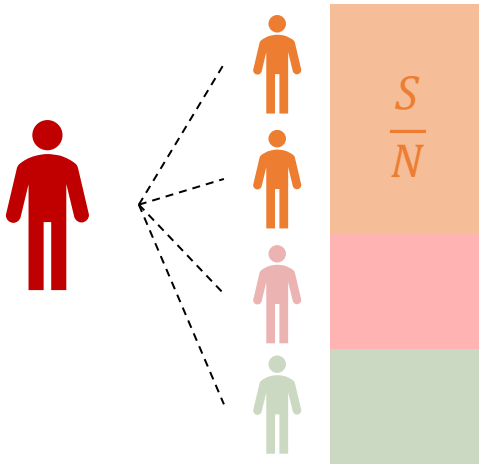
SIR: DINÁMICA

Susceptibles

Infectados

Recuperados

b contactos (4)



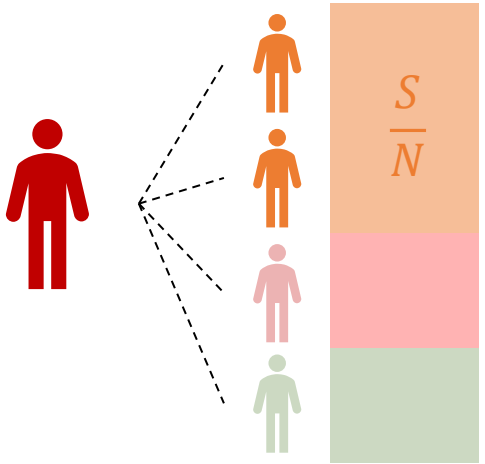
p probabilidad de infección (50%)

Media de infecciones
(por individuo por unidad de tiempo)

$$\beta = b \times p$$

SIR: DINÁMICA

b contactos (4)



p probabilidad de infección (50%)

Media de infecciones
(por individuo por unidad de tiempo)

$$\beta = b \times p$$

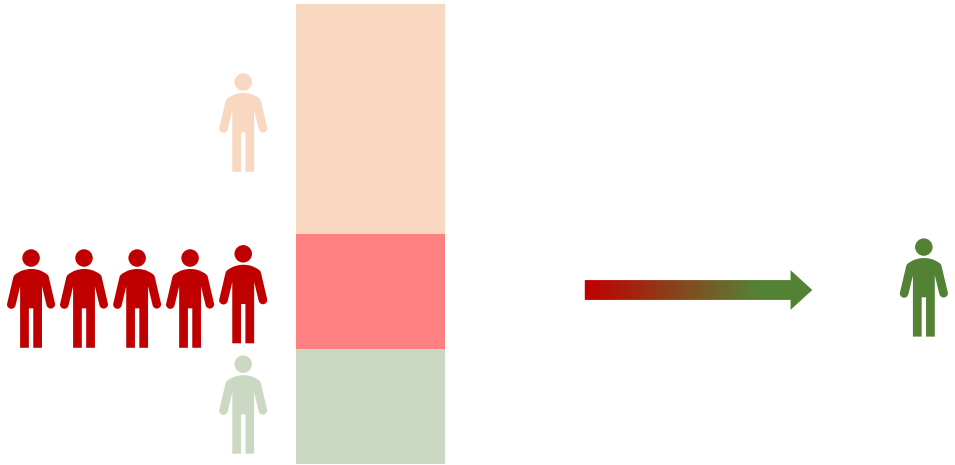
$$\frac{dS_t}{dt} = -\beta \times I_t \times \frac{S_t}{N}$$

SIR: DINÁMICA

Susceptibles

Infectados

Recuperados



Tasa de recuperación (20%)*

(por individuo por unidad de tiempo)

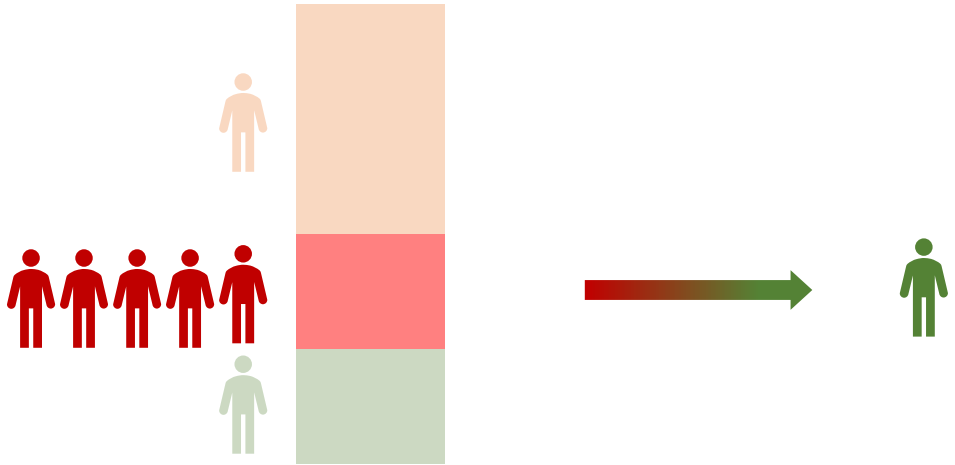
γ

SIR: DINÁMICA

Susceptibles

Infectados

Recuperados



Tasa de recuperación (20%)*

(por individuo por unidad de tiempo)

γ

* γ = recuperación de la enfermedad (%) / duración enfermedad (días).

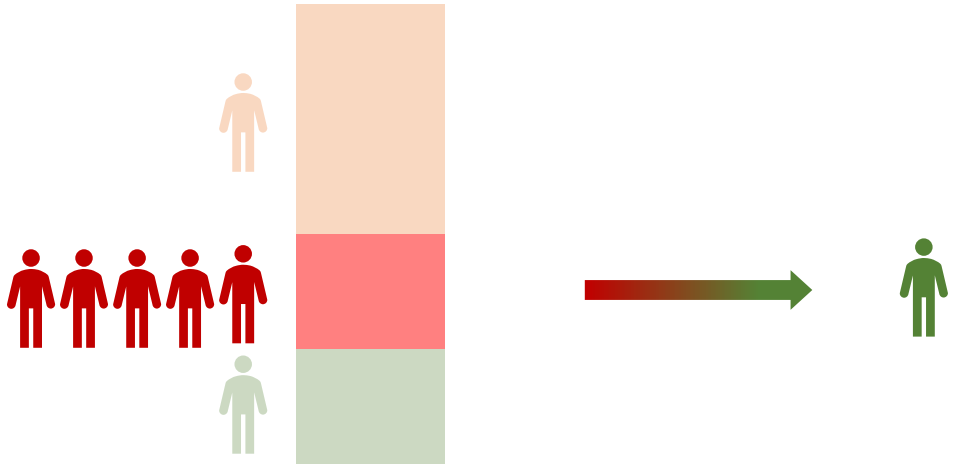
$\gamma = \frac{100\%}{5 \text{ días}}$ = 20%. (No hay decesos).

SIR: DINÁMICA

Tasa de recuperación (20%)

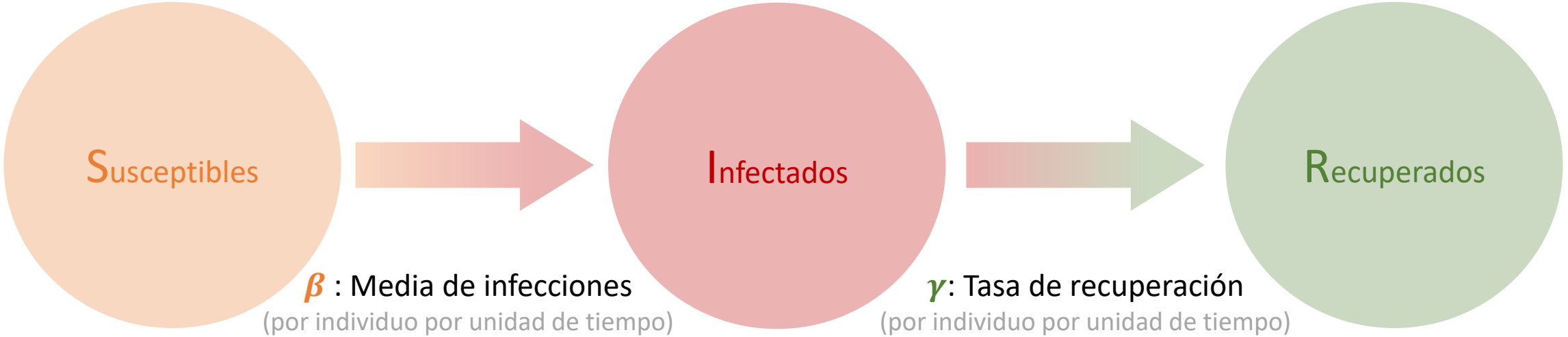
(por individuo por unidad de tiempo)

γ



$$\frac{dR_t}{dt} = \gamma \times I_t$$

SIR: DINÁMICA



$$\frac{dS_t}{dt} = -\beta\left(I_t \times \frac{S_t}{N}\right)$$

$$\frac{dI_t}{dt} = \beta\left(I_t \times \frac{S_t}{N}\right) - \gamma \times I_t$$

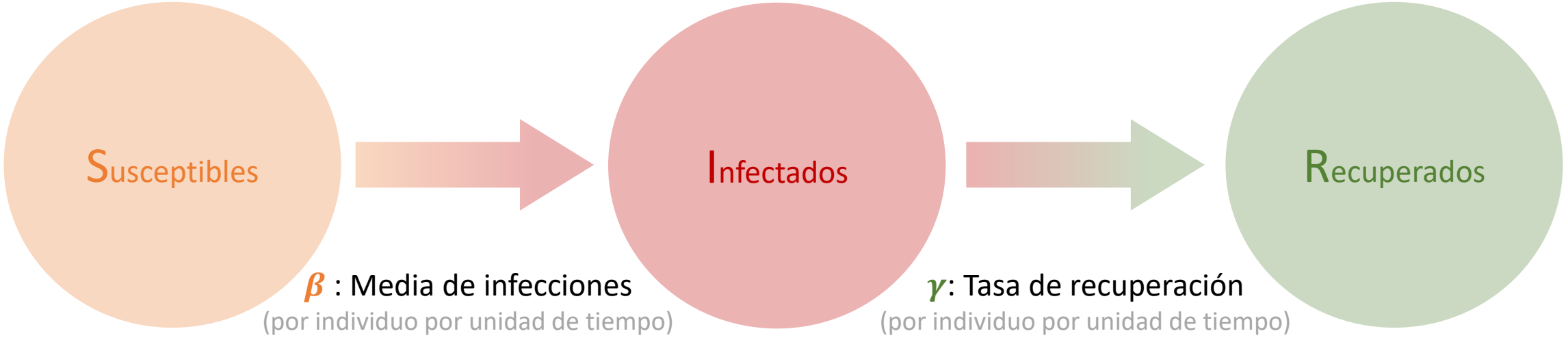
$$\frac{dR_t}{dt} = \gamma \times I_t$$

$$S_t = S_{t-1} - \beta\left(I_t \times \frac{S_{t-1}}{N}\right)$$

$$I_t = I_{t-1} + \beta\left(I_{t+1} \times \frac{S_{t-1}}{N}\right) - \gamma \times I_{t-1}$$

$$R_t = R_{t-1} + \gamma \times I_{t-1}$$

SIR: DINÁMICA



$$\frac{dS_t}{dt} = -\beta\left(I_t \times \frac{S_t}{N}\right)$$

$$\frac{dI_t}{dt} = \beta\left(I_t \times \frac{S_t}{N}\right) - \gamma \times I_t$$

$$\frac{dR_t}{dt} = \gamma \times I_t$$

$$S_t = S_{t-1} - \beta\left(I_{t-1} \times \frac{S_{t-1}}{N}\right)$$

$$I_t = I_{t-1} + \beta\left(I_{t-1} \times \frac{S_{t-1}}{N}\right) - \gamma \times I_{t-1}$$

$$R_t = R_{t-1} + \gamma \times I_{t-1}$$

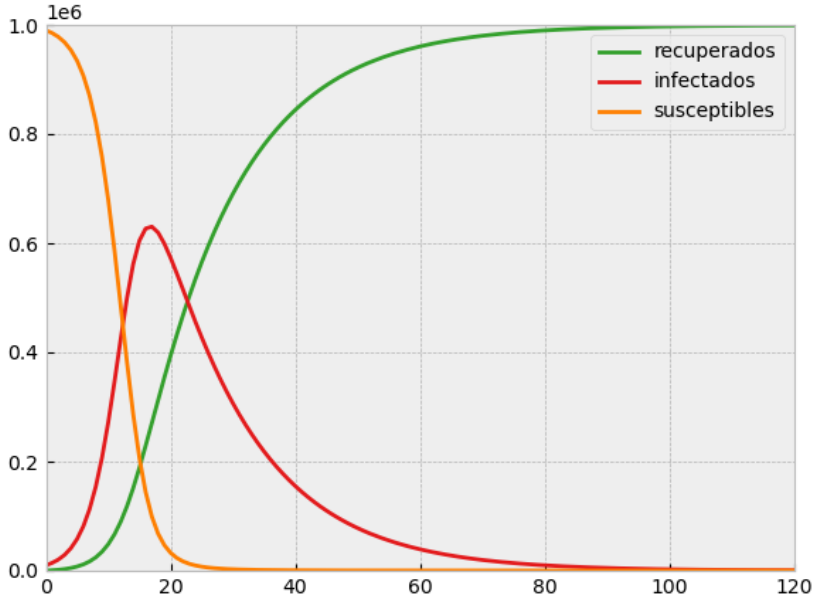
SIR: Ilustración

$$S_t = S_{t-1} - \beta\left(I_{t-1} \times \frac{S_{t-1}}{N}\right)$$

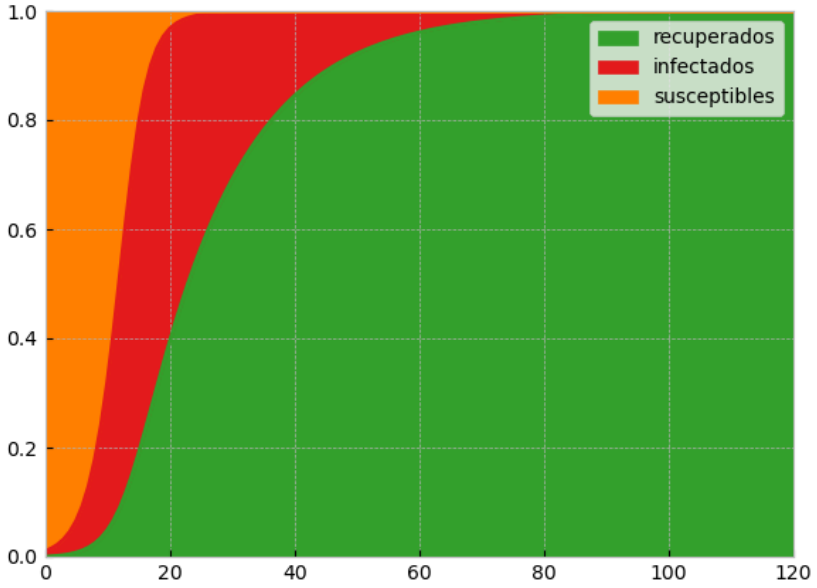
$$I_t = I_{t-1} + \beta\left(I_{t-1} \times \frac{S_{t-1}}{N}\right) - \gamma \times I_{t-1}$$

$$R_t = R_{t-1} + \gamma \times I_{t-1}$$

Evolución de compartimentos



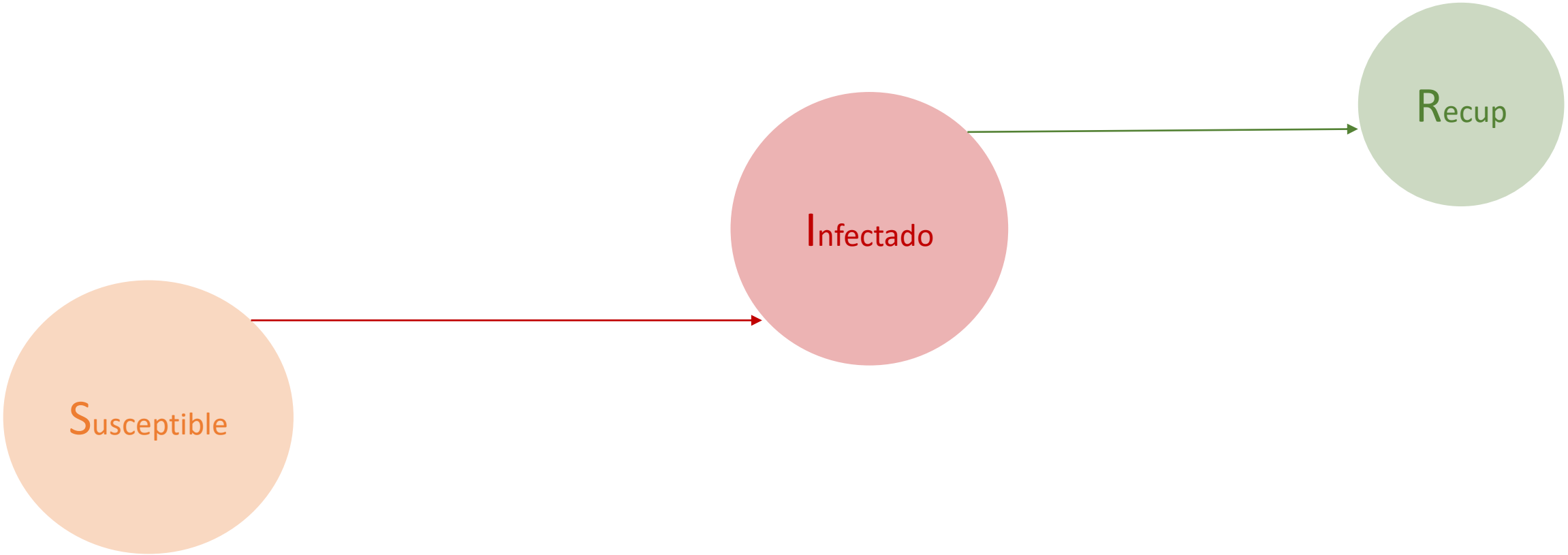
Porcentaje de la Población



Parámetros	
días	15
b	5
p	10%
N	1 Mio
Recuperación	100%

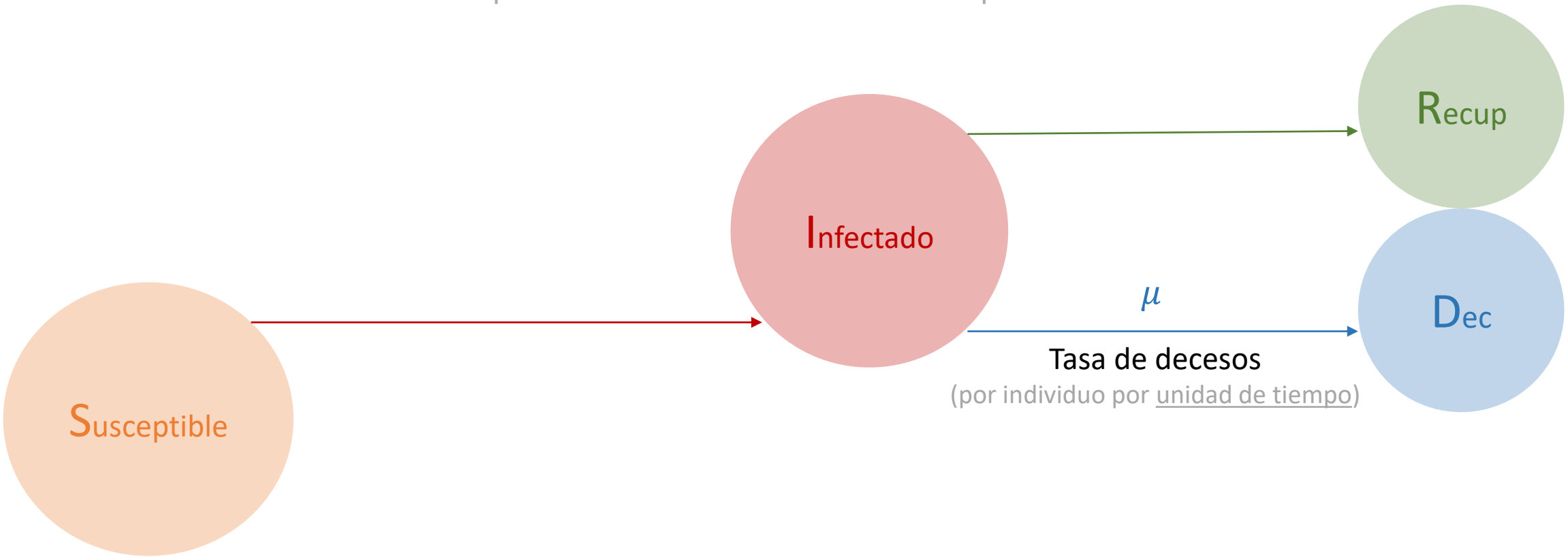
SIR

Susceptible – Infectado – Recuperado



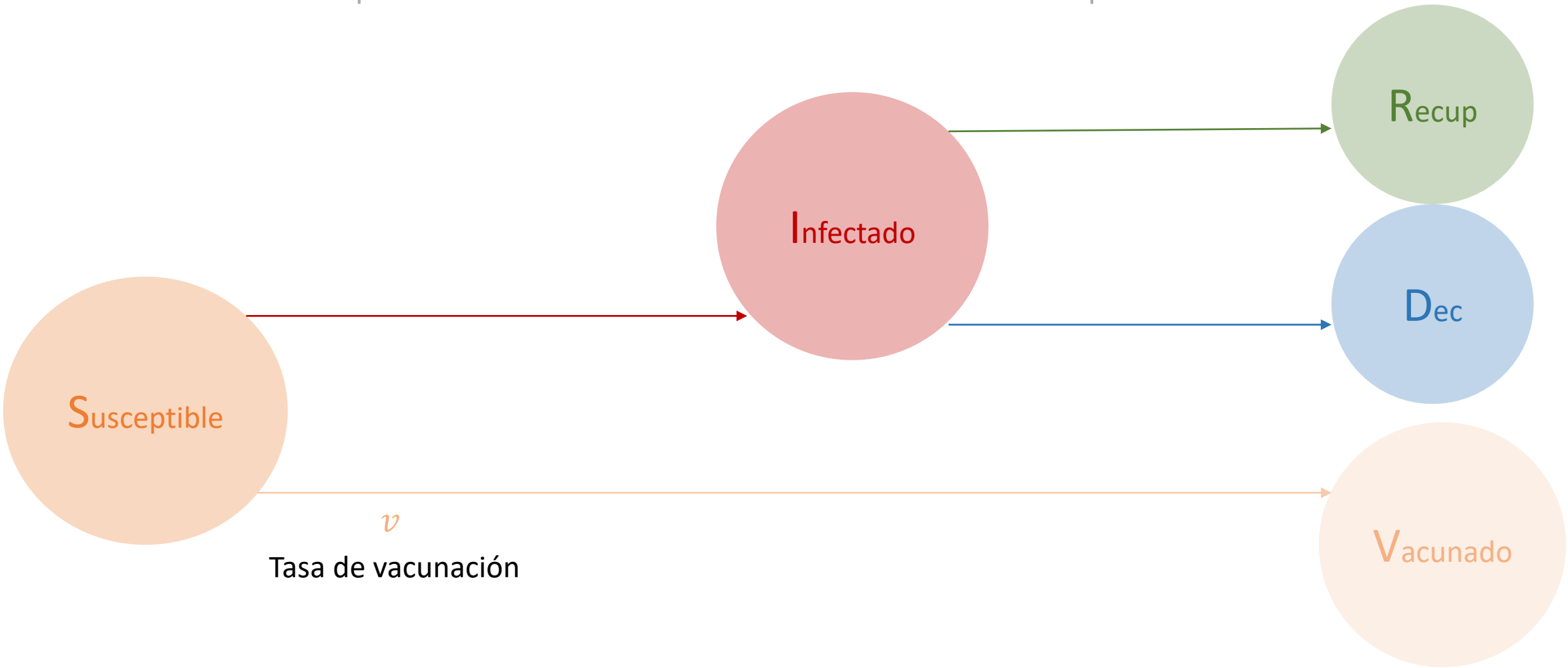
SIRD

Susceptible – Infectado – Recuperado – Decesos



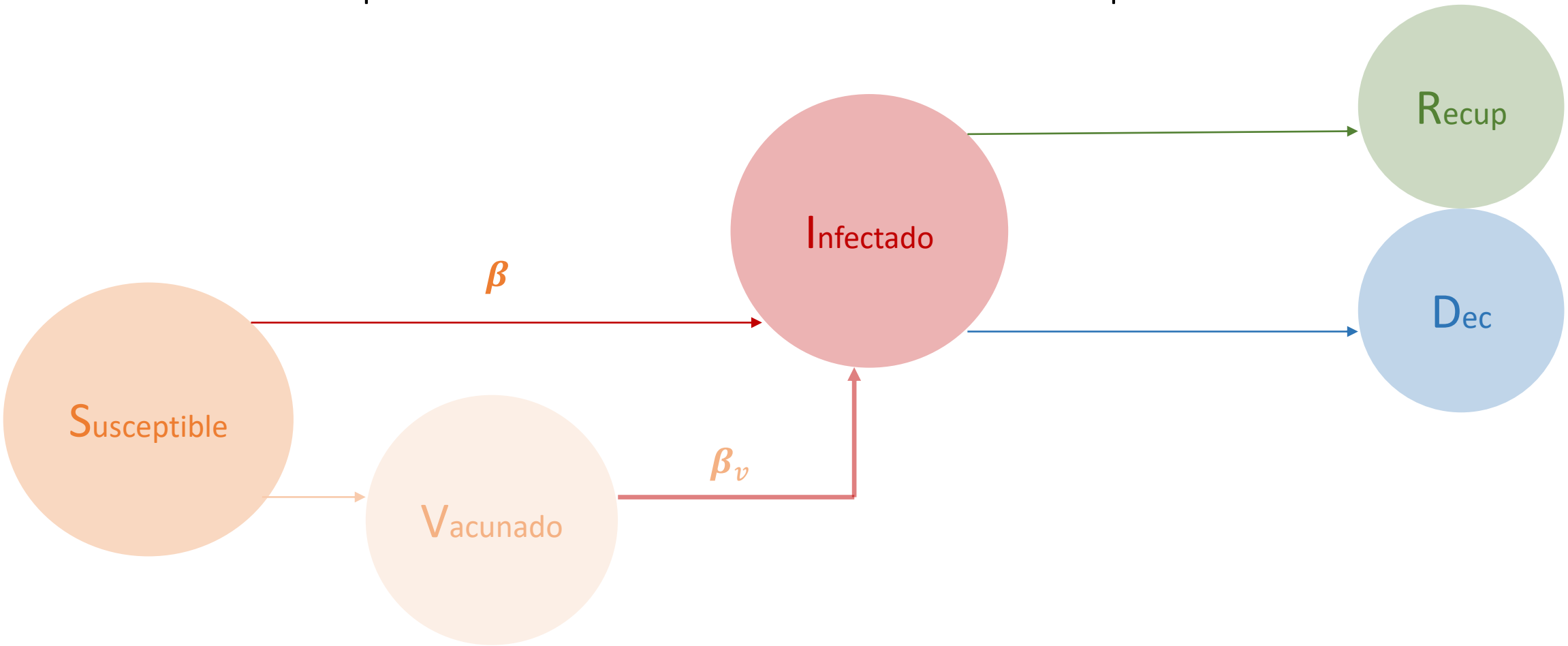
SVIRD

Susceptible – Vacunados – Infectado – Recuperado – Decesos



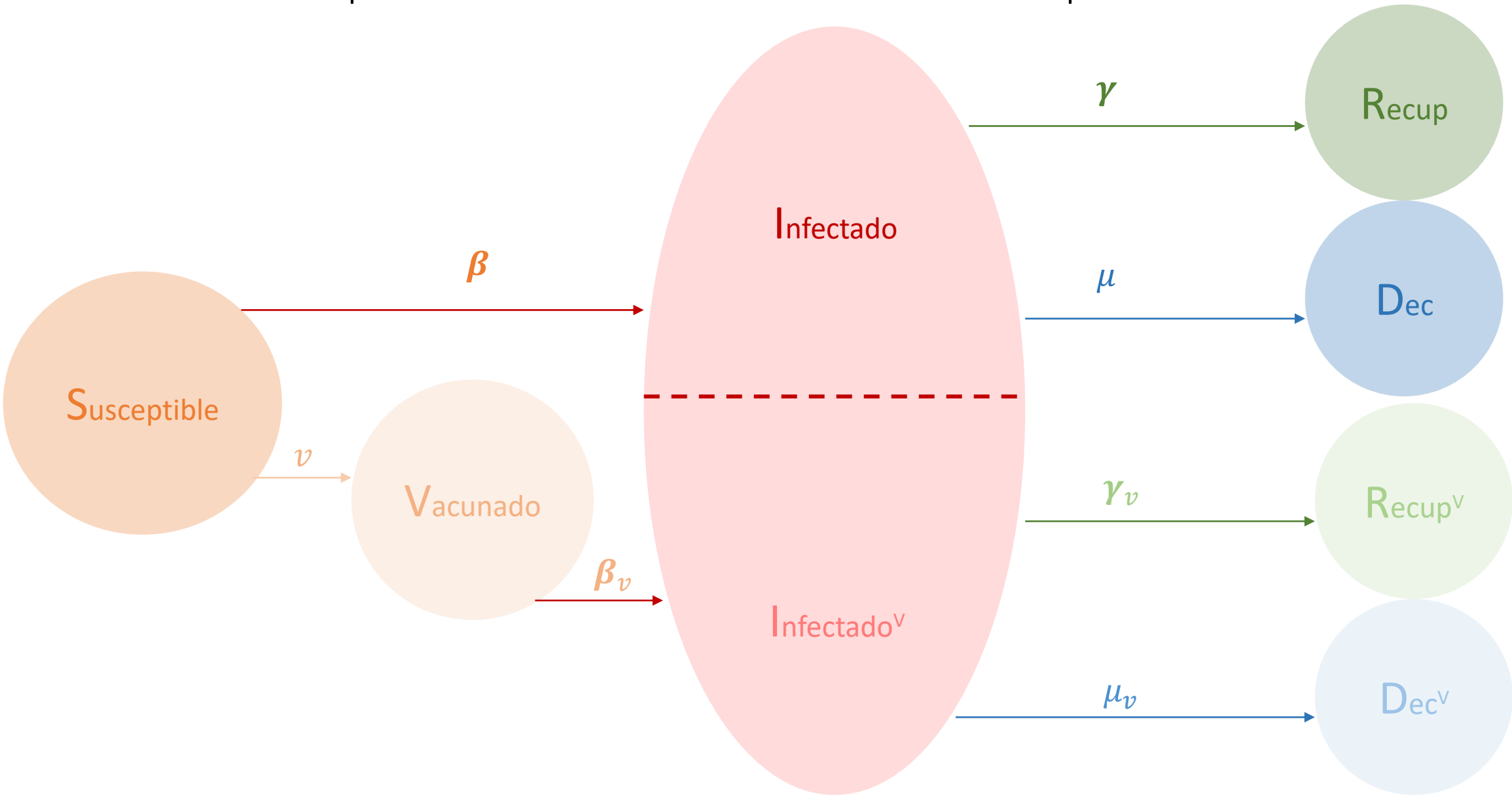
SIRVID

Susceptible – Vacunados – Infectado – Recuperado – Decesos



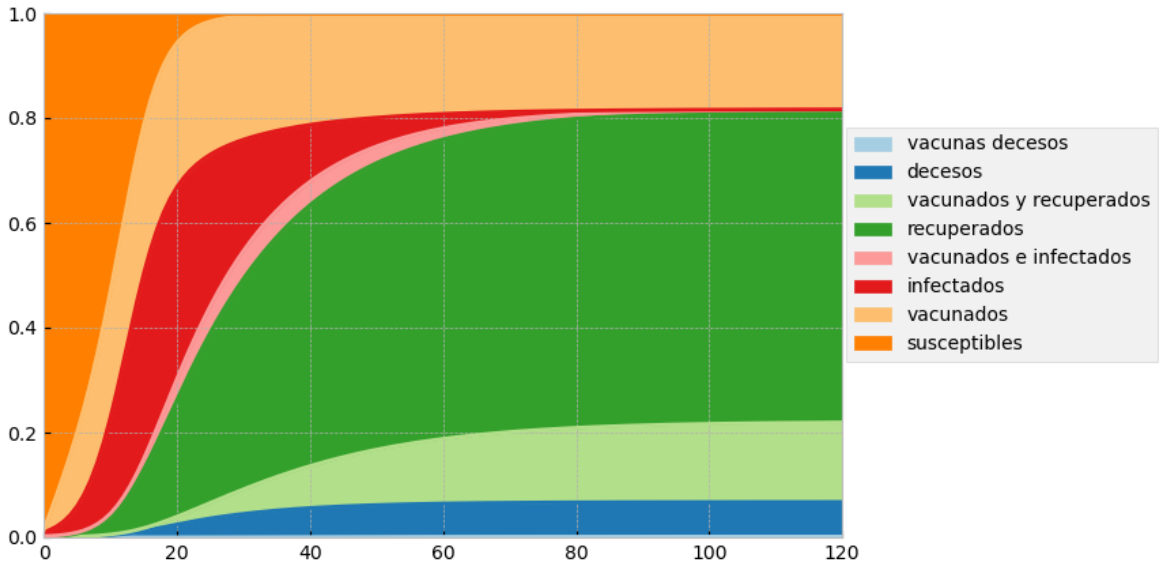
SIRVID

Susceptible – Vacunados – Infectado – Recuperado – Decesos



SVIRD: Ilustración

Porcentaje de la Población



Parámetros		
Duración media de la enfermedad		15
Tasa diaria de interacción		5
Tasa diaria de vacunación		3%
Protección vacuna (% de P de contagio)		90.00%
N		1,000,000
S0		98.50%
V0		0.50%
I0		0.75%
IV0		0.25%
	No Vacunados	Vacunados
Tasa de recuperación	90.00%	99.00%
Mortalidad	10.00%	1.00%
Probabilidad de contagio	10.00%	1.00%
beta	0.5	0.05
gamma	0.060	0.066
mu	0.007	0.001

	No Vacunados	Vacunados	Total	Total (%)
Pob Vacunada	0	335 284	335 284	33.5%
Contagios	662 213	154 490	816 703	81.7%
Recuperaciones	595 990	152 933	748 923	74.9%
Decesos	66 221	1 544	67 765	6.8%
No Afectados	2 501	180 794	183 296	
Max Nb Infectados	380 074	53 412	433 486	
Max Nb Contagios diarios	53 809	5 927	59 736	
Max Nb Recuperaciones diarias	22 804	3 525	26 329	
Max Nb Decesos diarios	2 533	35	2 569	

SVIRD: Contagiosidad vs Porcentaje de Vacunas

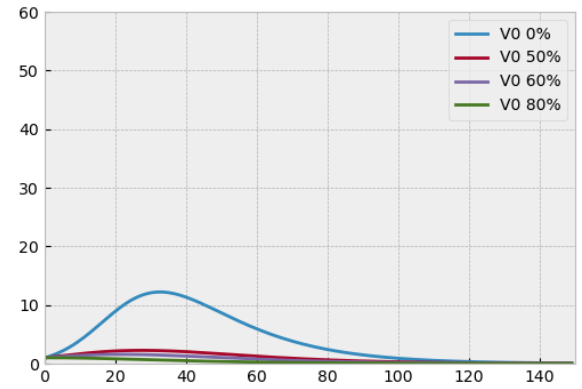
Nro. Contactos (b) = 5, Tasa Vacunación (v) = 3%, Eficacia Vacuna = 90%

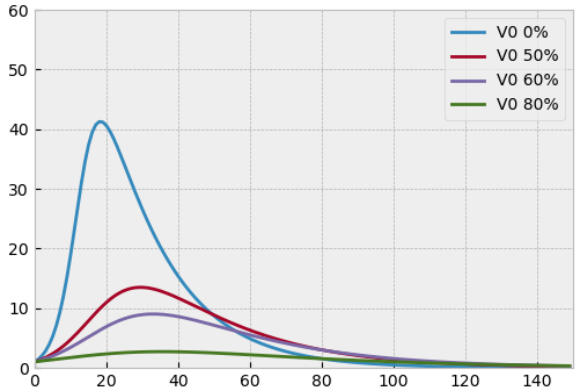
Baja contagiosidad Prob. (p) = 5%

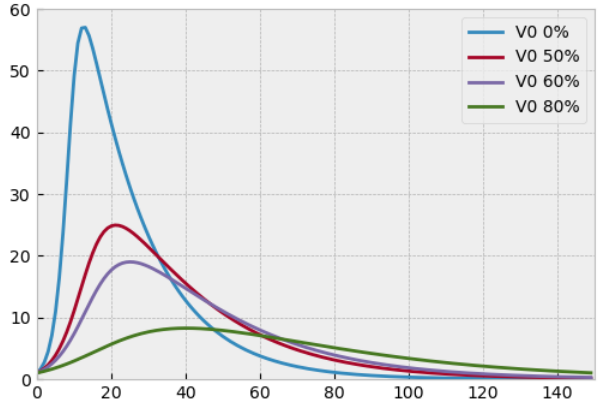
Moderada contagiosidad Prob. (p) = 10%

Alta contagiosidad Prob. (p) = 15%

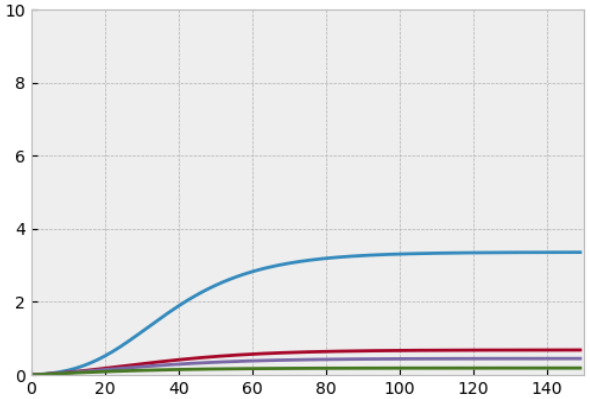
Infectados (%)

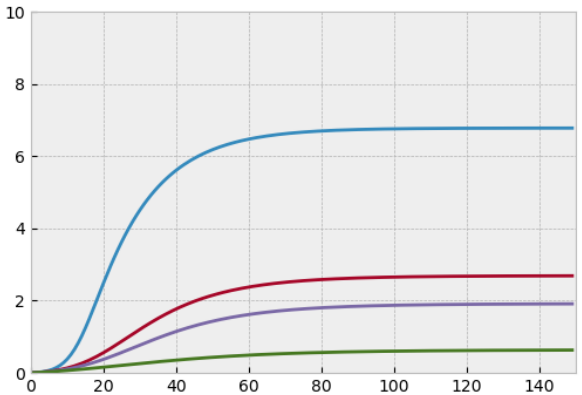


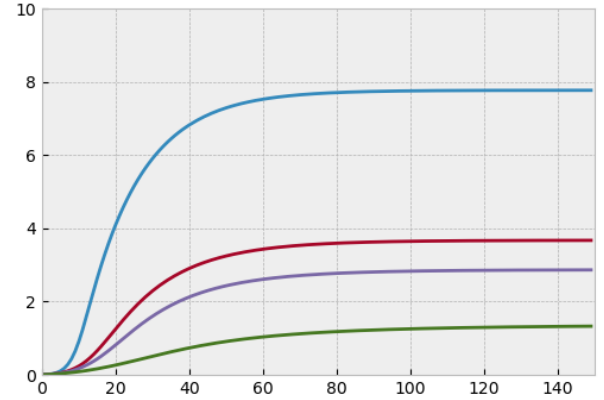




Decesos (%)



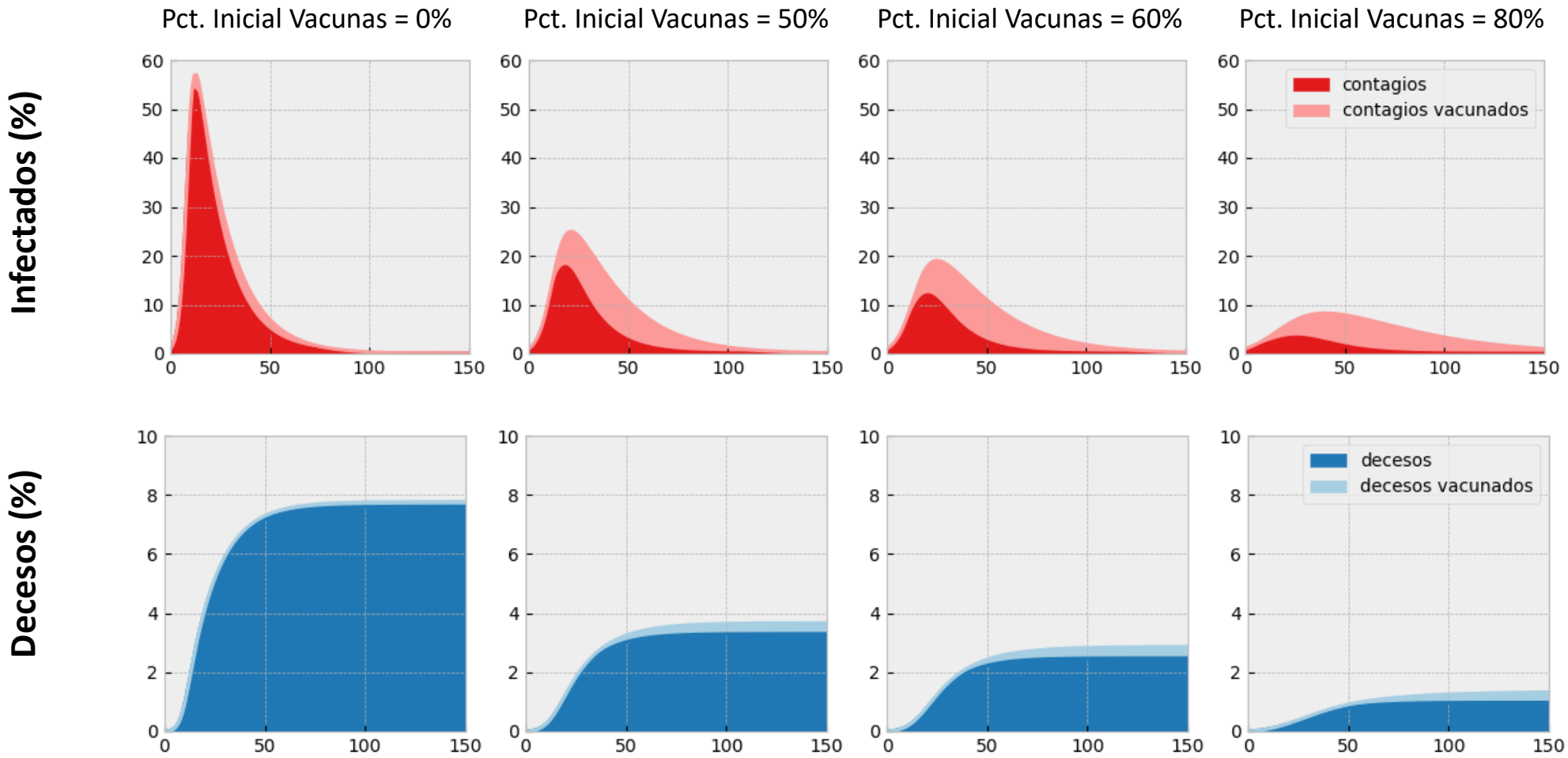




SVIRD: Efecto de Vacunas sobre Decesos

Nro. Contactos (b) = 5, Tasa Vacunación (v) = 3%, Eficacia Vacuna = 90%

Alta Contagiosidad - Probabilidad de Contagio (p) = 15%

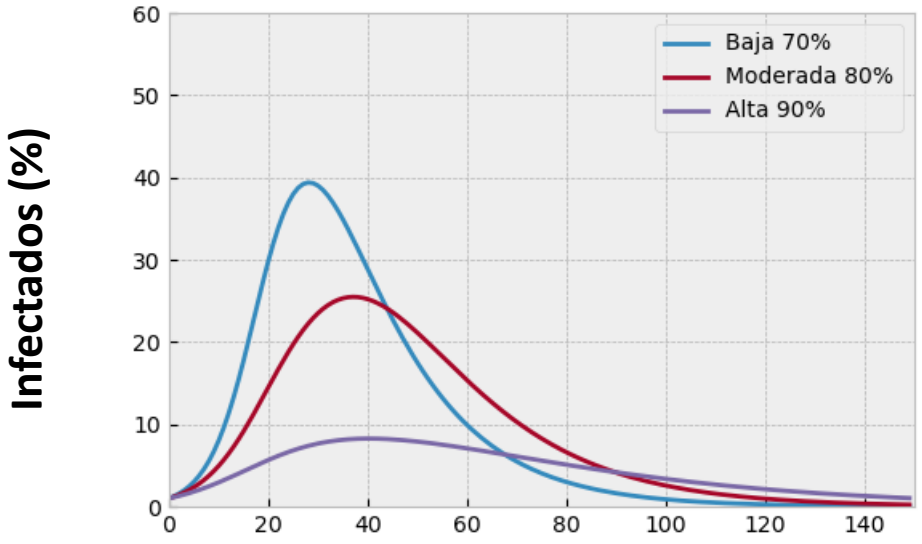


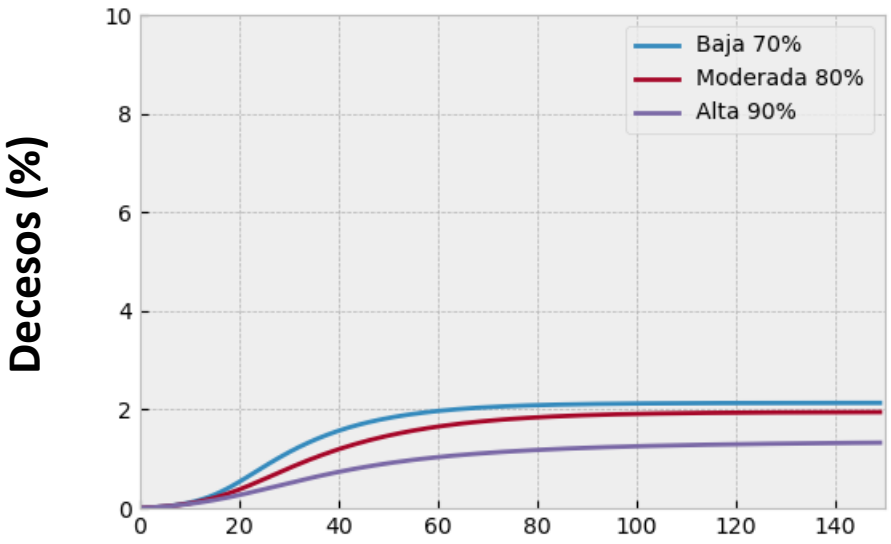
SVIRD: Eficacia de Vacunas

Nro. Contactos (b) = 5, Tasa Vacunación (v) = 3%, Porcentaje Inicial de vacunados = 80%

Alta Contagiosidad - Probabilidad de Contagio (p) = 15%

Mortalidad Vacuna fija!





Referencias

Modelo SIR

Kermack, W; McKendrick, A (1991). "Contributions to the mathematical theory of epidemics – I". Bulletin of Mathematical Biology. 53 (1–2): 33–55.

Modelo estacional

G Nakamura, B Grammaticos, M Badoual. “Vaccination strategies for a seasonal epidemic: a simple SIR model”. 2021. Hal.

Modelo similar al SIRVID (adición de asintomáticos + calibración con ML)

M. Angeli, G. Neofotistos, M. Mattheakis and E. Kaxiras. Modeling the effect of the vaccination campaign on the Covid-19 pandemic. 2021, arXiv.

Ineficiencia del modelo

Moein, S., Nickaeen, N., Roointan, A. *et al.* Inefficiency of SIR models in forecasting COVID-19 epidemic: a case study of Isfahan. *Sci Rep* **11,** 4725 (2021).

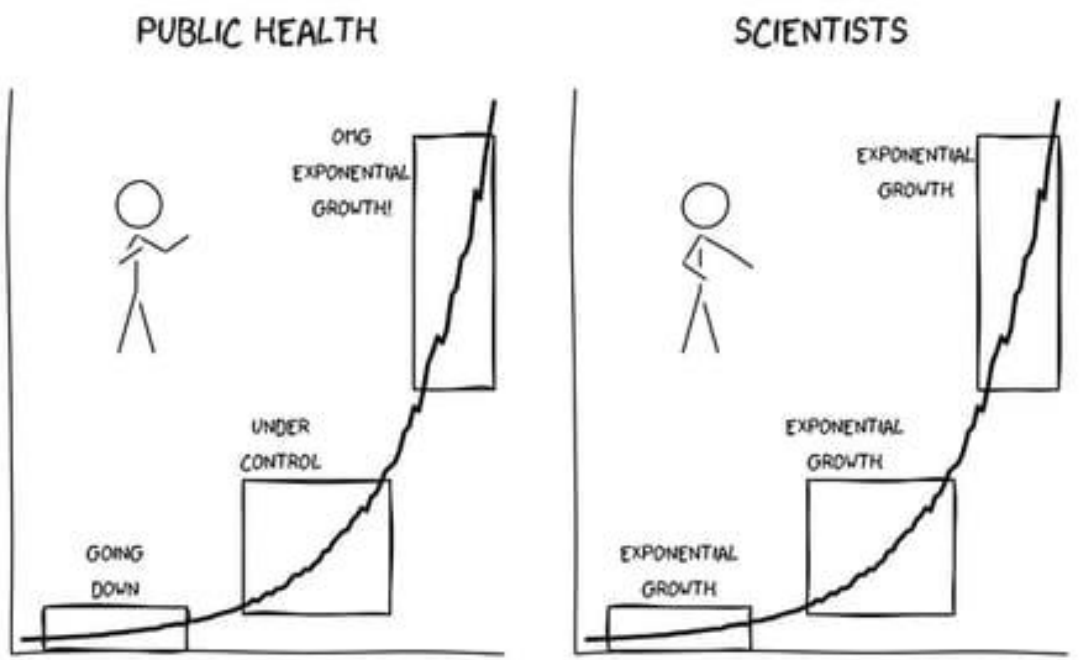
Modelos de emergencia de variantes resistentes

Rella, et al. SARS-CoV-2 transmission, vaccination rate and the fate of resistant strains. 2021, MedRxiv.

Bongiorno C., Cagnol J. Modeling the emergence of vaccine-resistant variants with Gaussian convolution COVID-19: Could the wrong strategy ruin vaccine efficiency? . 2021, MedRxiv.

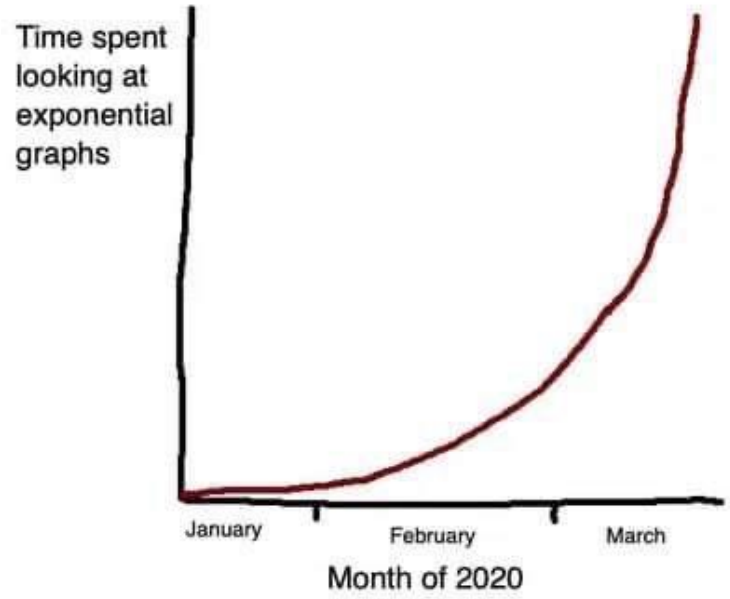
Grenfell, B. T. et al. Unifying the Epidemiological and Evolutionary Dynamics of Pathogens. Science 303, 327–332 (2004).

Críticas



twitter

Críticas



twitter

Situación en Francia: Casos

Nombre moyen de nouveaux cas confirmés quotidiens

Source : data.gouv.fr

Graphique | Carte

Localisation

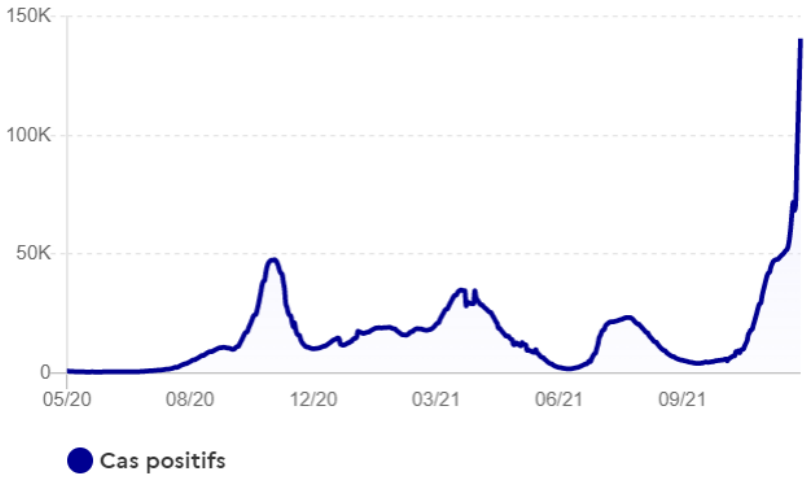
France entière

Mise à jour : 29/12/2021

Nombre moyen de nouveaux cas confirmés quotidiens

140 861

110.15 % en 7J



Tests positifs chez les personnes vaccinées et non vaccinées

Source : data.gouv.fr

Localisation

France entière

Mise à jour : 18/12/2021

Nombre de tests positifs chez les personnes non vaccinées

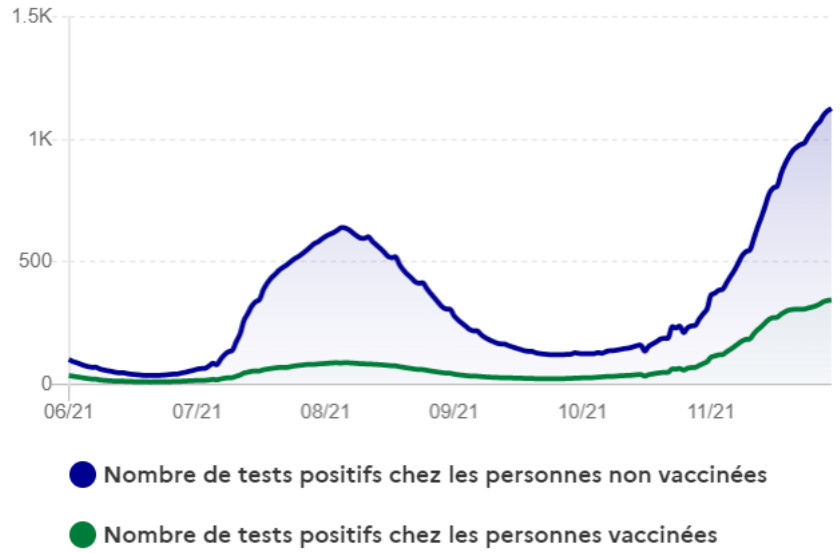
1126.89

14.29 % en 7J

Nombre de tests positifs chez les personnes vaccinées

344.91

12.11 % en 7J



Situación en Francia: Hospitalizaciones

Nombre moyen de nouvelles hospitalisations quotidiennes

Source : data.gouv.fr

Graphique | Carte

Localisation

France entière

Mise à jour : 01/01/2022

Nombre moyen de nouvelles hospitalisations quotidiennes

1 614

32.30 % en 7J

Nombre moyen de nouvelles entrées en soins critiques quotidiennes

Source : data.gouv.fr

Graphique | Carte

Localisation

France entière

Mise à jour : 01/01/2022

Nombre moyen de nouvelles entrées en soins critiques quotidiennes

289

5.86 % en 7J

26/12/2021

Situación en Francia: UCI

Nombre d'entrées en soins critiques chez les personnes vaccinées et non vaccinées

Source : data.gouv.fr

Localisation

France entière

Mise à jour : 18/12/2021

Nombre d'entrées en soins critiques chez les personnes non vaccinées

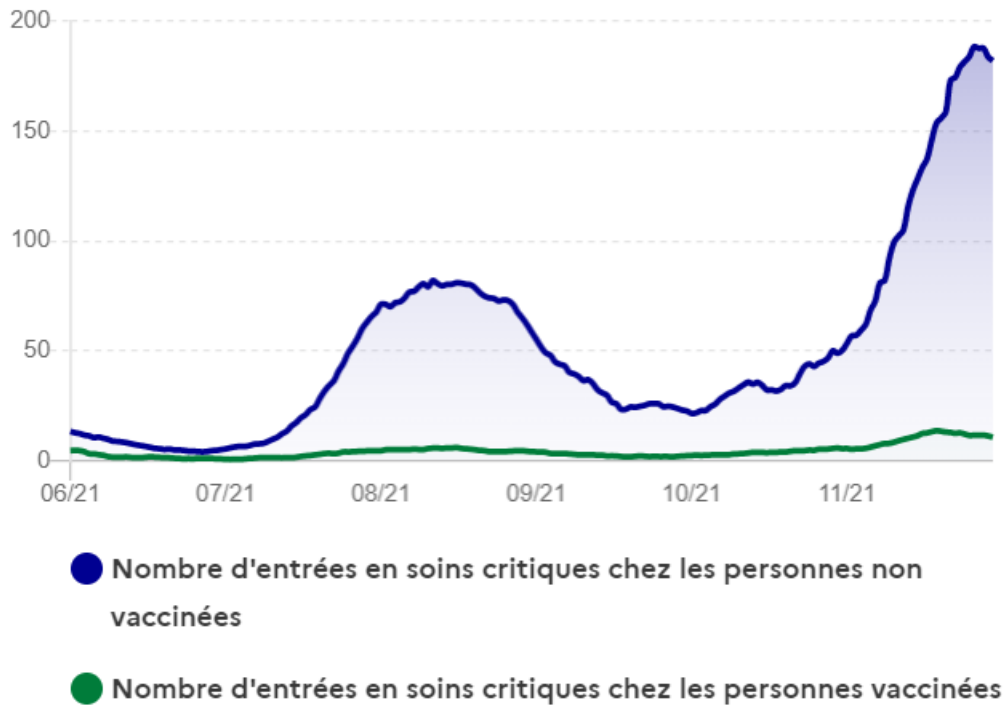
182.07

1.61 % en 7J

Nombre d'entrées en soins critiques chez les personnes vaccinées

10.70

-15.46 % en 7J



Situación en Francia: UCI

Proportion de patients atteints de la COVID-19 actuellement en réanimation, en soins intensifs, ou en unité de surveillance continue rapportée au nombre total de lits en capacité initiale.