

Modelos de transmisión de enfermedades

Teoría básica y Ecología de enfermedades infecciosas

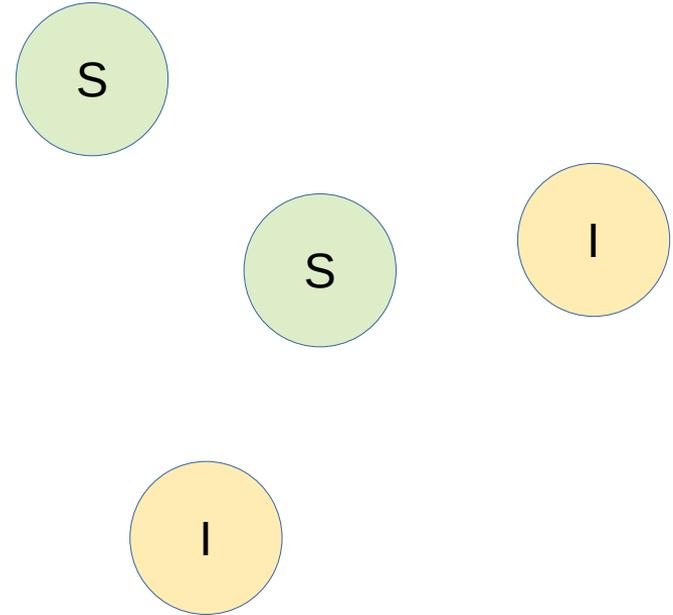
Epidemiología:

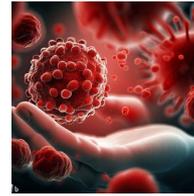
Estudio de las enfermedades, su distribución, frecuencia, diversidad y causas

¿Qué tan diferente es de la ecología?

Enfermedades infecciosas

- Interacción de al menos dos especies
- Una especie representa islas
- La otra las coloniza





Hospedero

Parásito

Especie colonizada →
Hospedero, reservorio

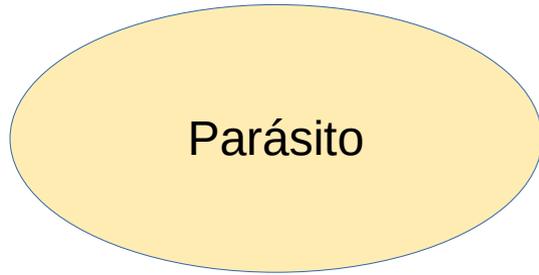
Tamaño corporal más grande

Constituye el hábitat y fuente
de alimento del parásito

Especie colonizadora →
Parásito, huésped

Tamaño corporal pequeño

Amplia diversidad
taxonómica



En **medicina**, parásito es sinónimo de:

- Helmintos
- Protozoarios

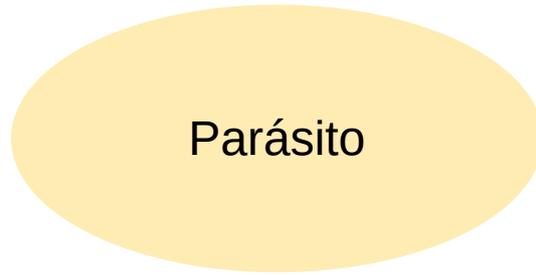
En **ecología**:

- Tipo de interacción biológica

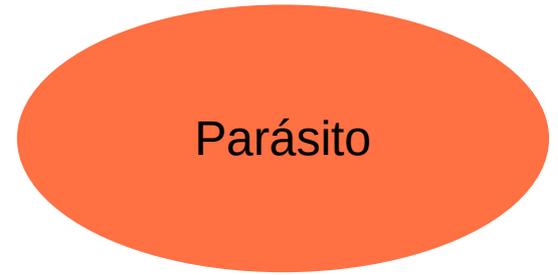
- Helmintos
- Protozoarios
- Bacterias
- Virus
- Plantas
- Vertebrados



Simbiontes, se benefician mutuamente



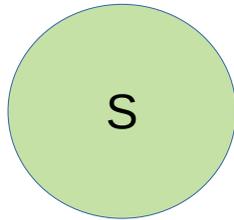
Comensales, sólo de huésped se beneficia, pero no perjudica al hospedero



Patógenos, sólo de huésped se beneficia y perjudica al hospedero

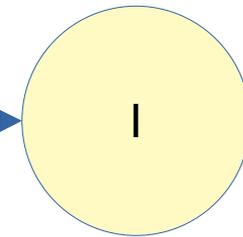
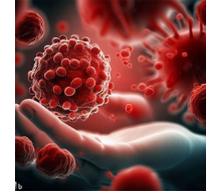


Continuum de efectos sobre hospedero



Hospederos sin parásito:

Susceptibles

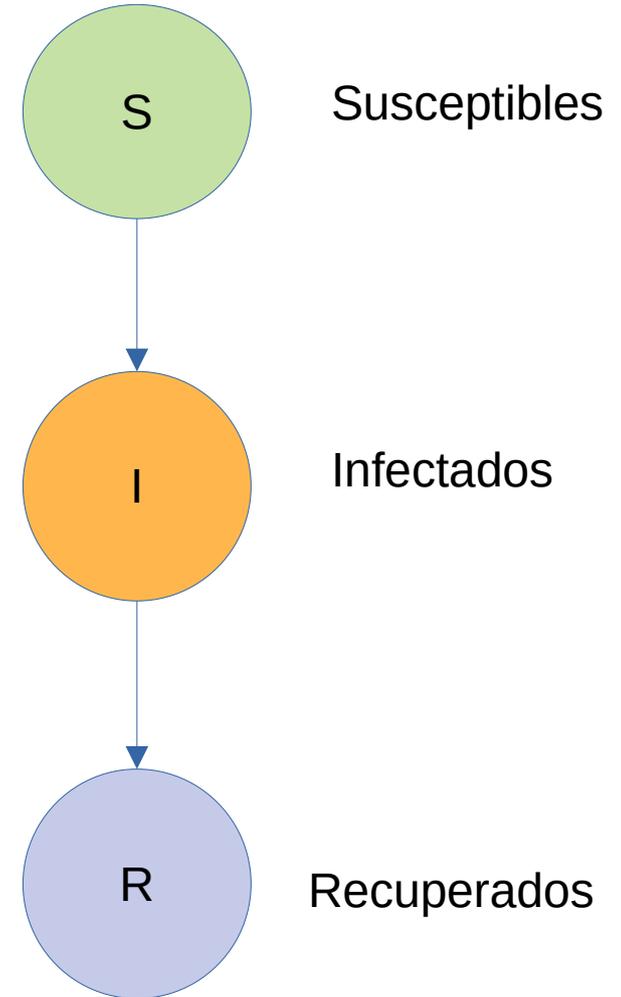


Hospederos con parásito:

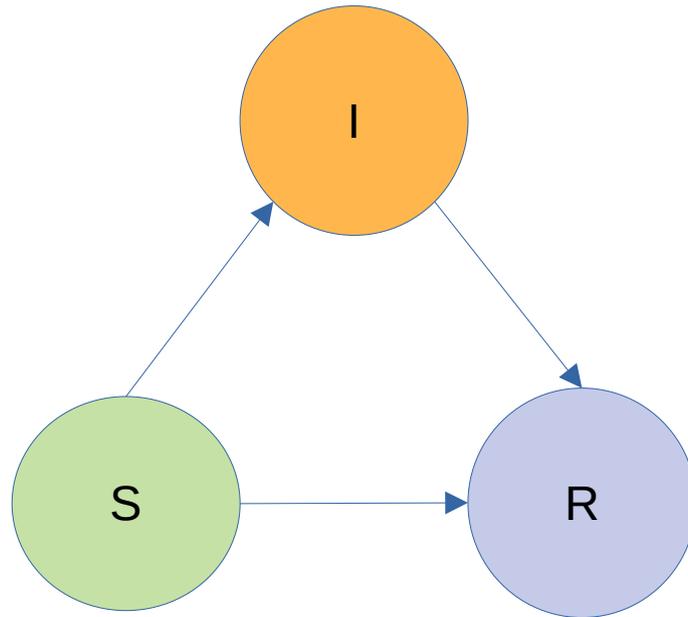
Infectados



- Los individuos pueden:
 - Tener al parásito/patógeno
 - No tenerlo
 - Tener defensas



- Modelos representan estados infecciosos, inmunes y transiciones



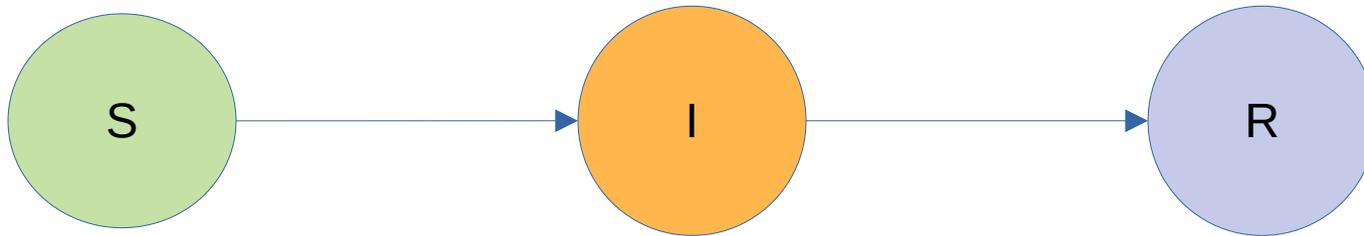
- La población donde ocurre transmisión se divide en compartimentos
- Compartimentos representan estados epidemiológicos
- Ya mencioné tres estados epidemiológicos, ¿qué otros puede haber? !Investiguen, ahorita!

Pequeña actividad:

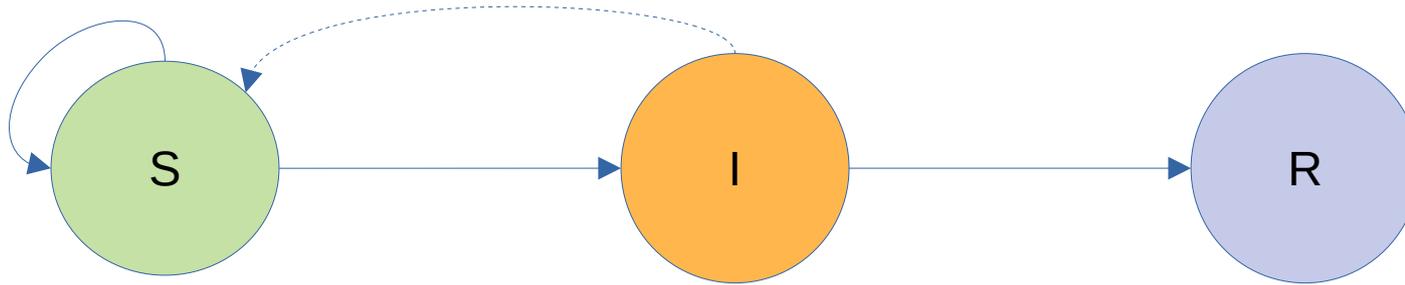
Hacer diagramas de transición entre estados,
biológicamente posibles

Transición de estados

- Estados basados en características de las enfermedades



Una estructura SIR se usa para representar enfermedades con inmunidad permanente



La demografía se suele incorporar en los modelos, si existen dinámicas endémicas

Epidemia → Corto plazo, proceso demográfico no suele afectar persistencia

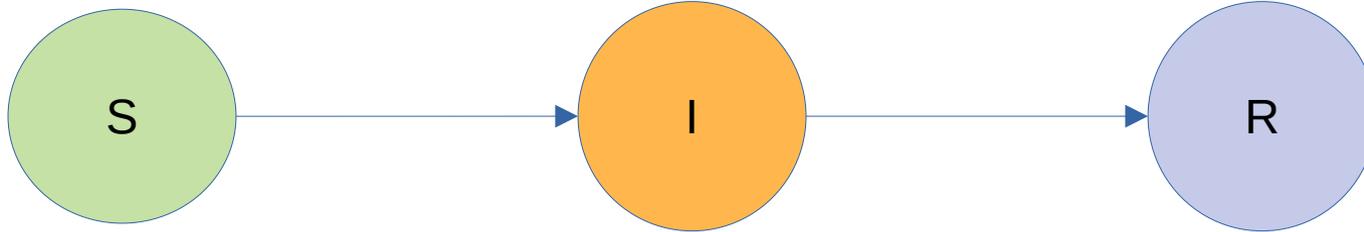
Endemia → Largo plazo, proceso demográfico determina persistencia de parásito

Compartimentos más comunes

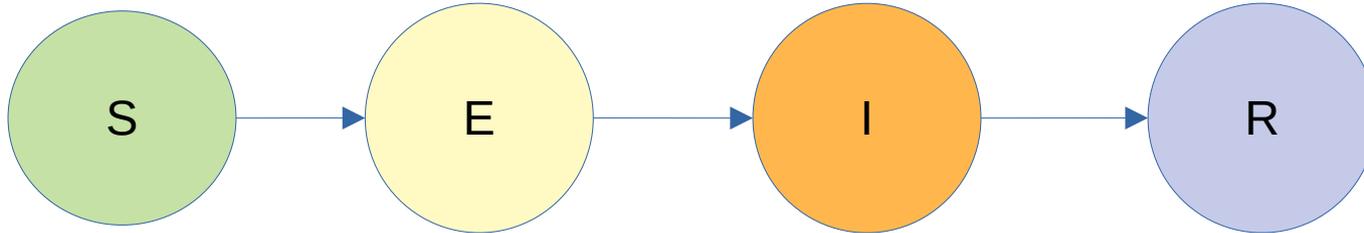
- S → Susceptible
- E → Expuesto
- I → Infeccioso/Infectado
- R → Recuperado
- L → Latente
- M → Inmunidad materna
- V → Vacunado

Nomenclatura de modelos

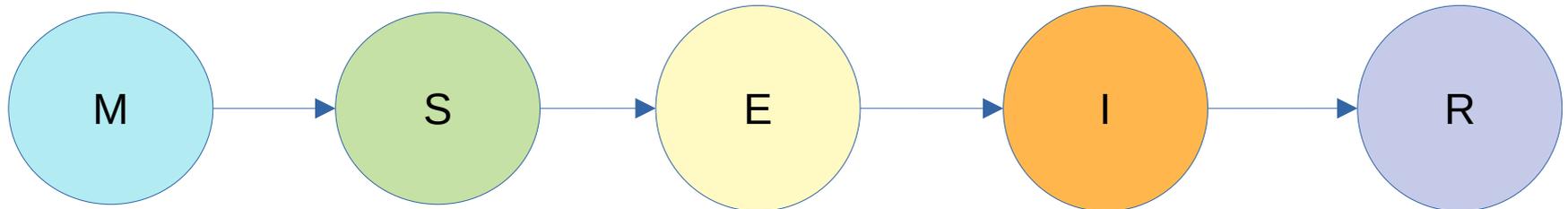
SIR



SEIR



MSEIR



Significado biológico de compartimentos

- **Susceptibles**

Nunca han sido expuestos al parásito, carecen de defensas

- **Infecciosos/Infectados**

Albergan al parásito y pueden transmitirlo. Suelen desarrollar signos clínicos de infección (más adelante veremos su representación en el modelo).

- **Expuestos**

Albergan al parásito, no desarrollan síntomas ni transmiten. Eventualmente serán /

- **Recuperados**

Han albergado al parásito. Desarrollaron inmunidad, por lo que no volverán a quedar infectados

- **Materna**

Tienen anticuerpos contra parásito transmitidos por la madre. Sólo ocurre en ciertos grupos (¿cuál(es)?).

- **Latente**

Estado infectado más largo de lo normal. No lo transmiten. Eventualmente la infección clínica se reactiva.

- **Vacunado**

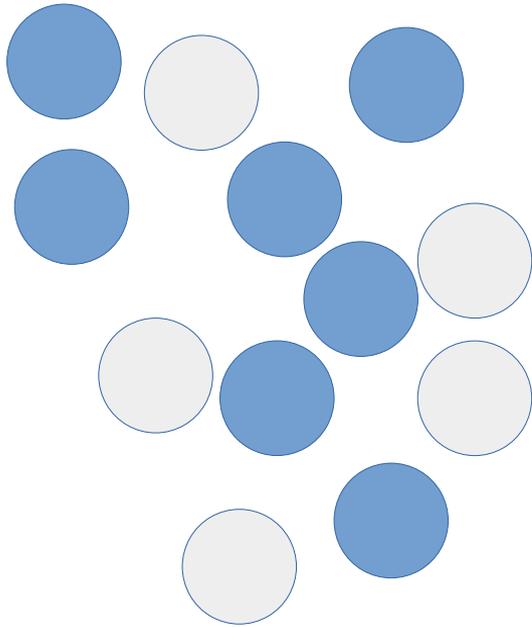
Han recibido dosis inmunizante contra parásito.
Son equivalentes a R

Implicaciones de compartimentalización

- Población dividida en estados discretos
- Modelos indican números en cada compartimento
- No capturan medidas de intensidad de infección

Indicadores epidemiológicos

Prevalencia



Fracción de la población con la infección ó enfermedad

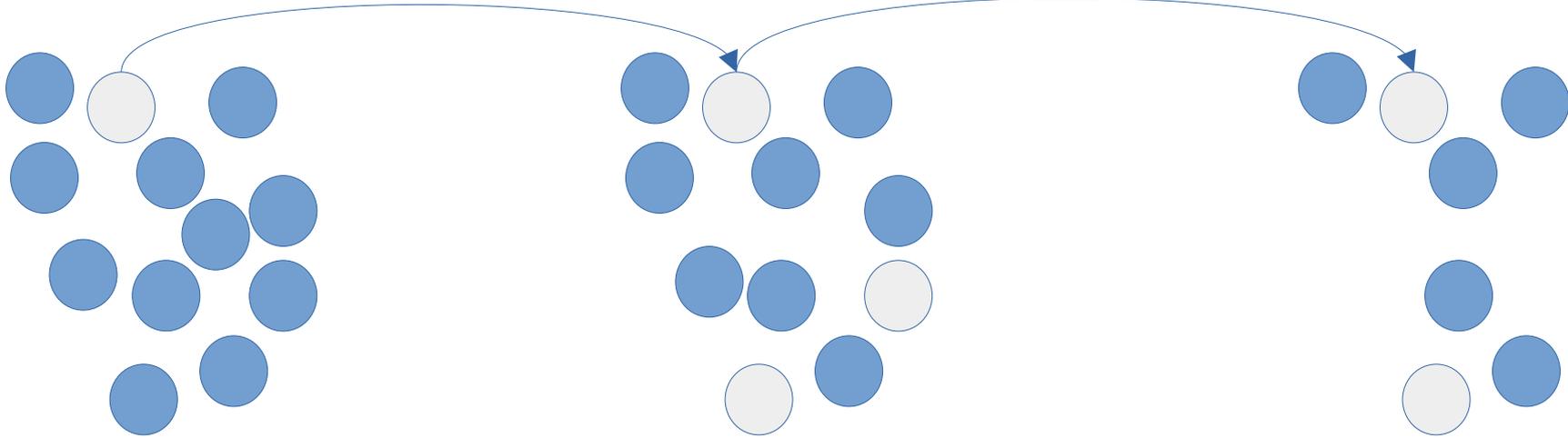
Ejemplo:

7 azules susceptibles

4 grises infectados

$$4/11 = 36\%$$

Incidencia



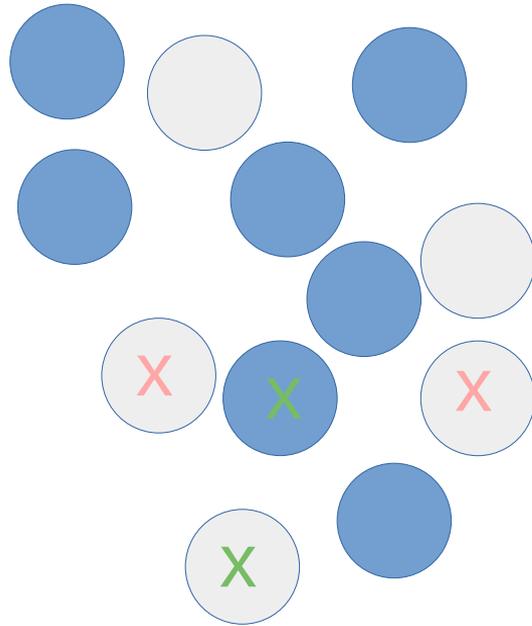
$$\frac{1}{11} = 0.09$$

$$\frac{2}{10} = 20\%$$

$$\frac{1}{7} = 14\%$$

Proporción de la población que tiene casos nuevos de infección a lo largo del tiempo

Mortalidad



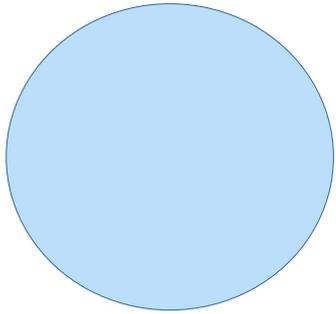
Fracción de infectados que mueren por la enfermedad

Ejemplo:

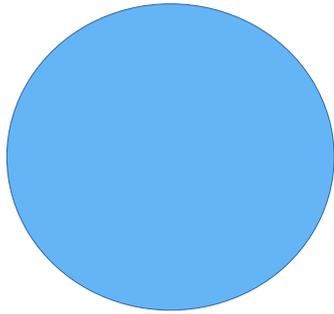
2 grises infectados que mueren por enfermedad

$$2/5 = 40\%$$

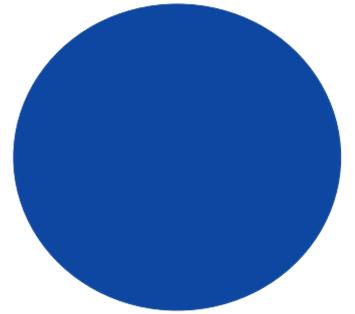
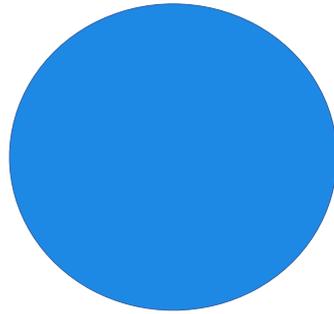
Intensidad de infección



1 parásito

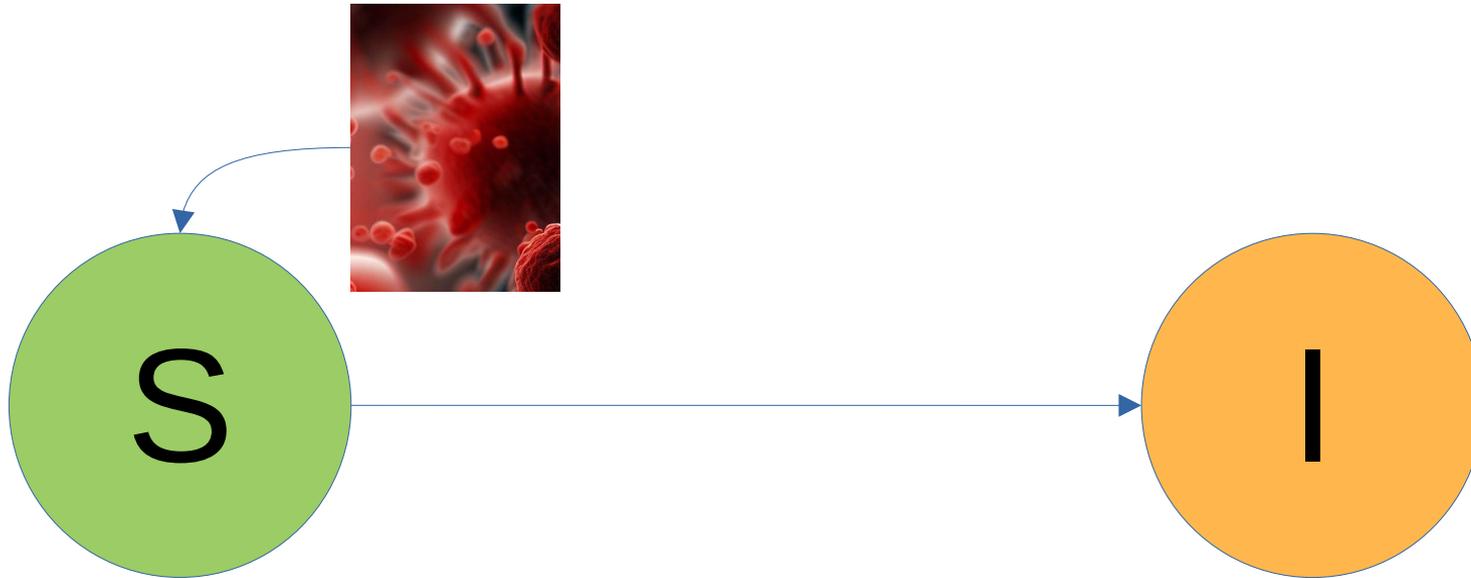


10 parásitos



100 parásitos

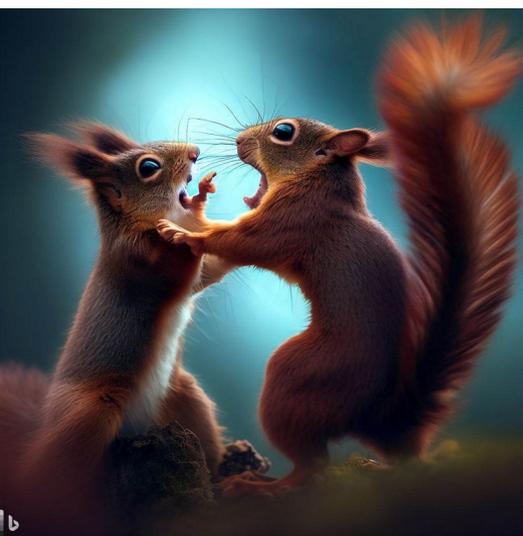
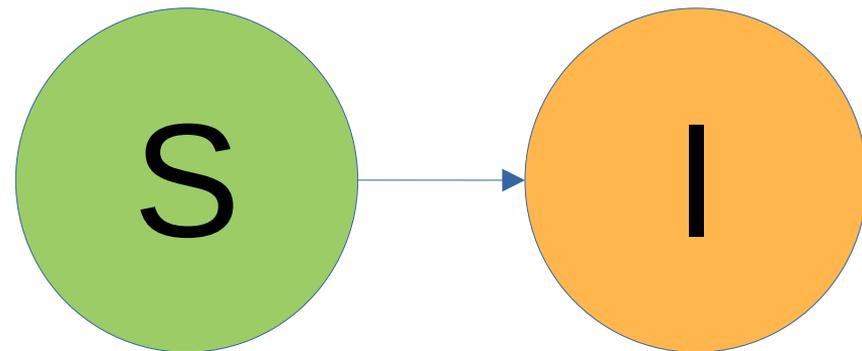
El proceso de transmisión



Partículas infectivas entran al cuerpo de hospedero, ¿de dónde provienen?

A nivel **individual**:

Interacción entre un susceptible y un infectado que introduzca partículas



Transmisión a nivel poblacional

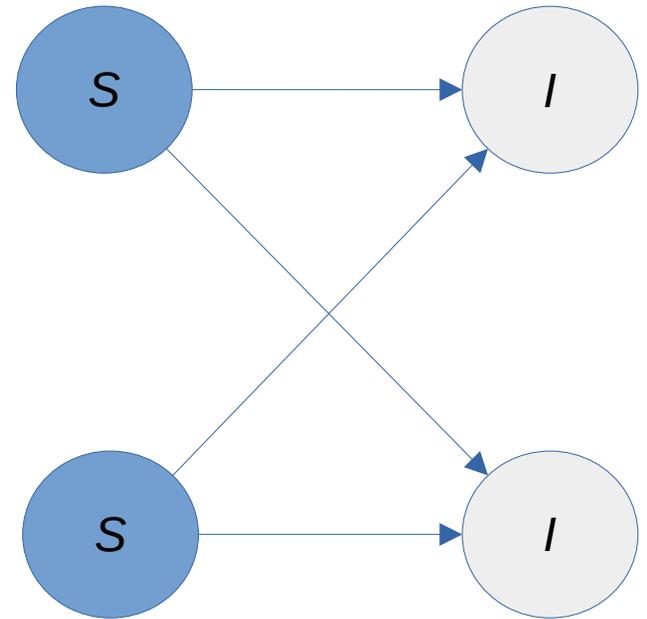
Dinámicas de mezcla entre susceptibles e infectados.

La más simple es contar el número de contactos posibles entre S e I

$$S = 2$$

$$I = 2$$

$$\text{Contactos infecciosos} = S \times I = 4$$



Paradigma de acción de masas

Masa de Susceptibles

$$S \times I$$

Masa de infectados

- Transmisión incrementa con tamaño de población de S
- *Denso-dependiente*

Frecuento-dependencia

Todos los contactos son posibles

Probabilidad de infección es proporcional a prevalencia

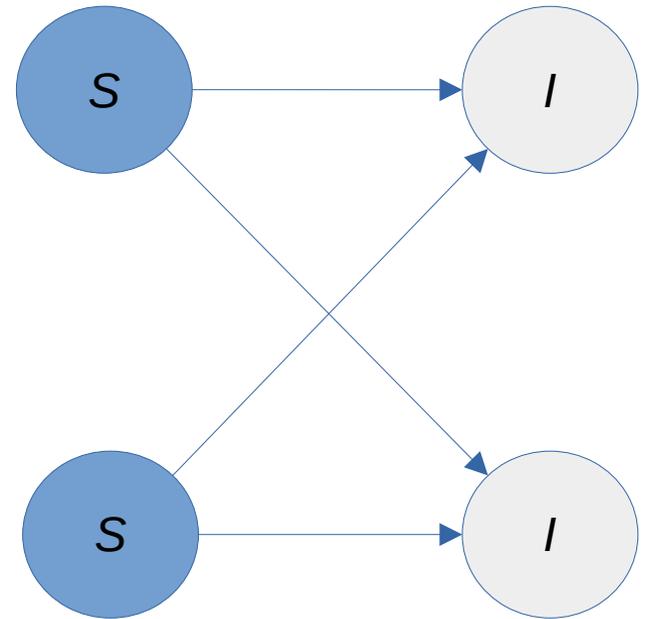
La más simple es contar el número de contactos posibles entre S e I

$$S = 2$$

$$I = 2$$

$$N = S + I = 4$$

$$\text{Contactos infecciosos} = S \times I / N = 0.5$$



Implicaciones biológicas entre tipos de dependencia

- Densidad → Existe tamaño crítico de población que evita transmisión
- Frecuencia (Prevalencia) → No existe tamaño crítico de población

Enfermedades denso- dependientes:

Se transmiten muy rápido,
tienden a ocurrir en poblaciones
grandes, baja mortalidad:

Sarampión

Enfermedades con transmisión mixta

Enfermedades frecuento- dependientes:

Se transmiten menos rápido,
ocurren en poblaciones de
cualquier tamaño, puede haber
alta mortalidad:

Tuberculosis, VIH

Modelos simples de transmisión

Modelos compartamentales

- Se plantean como sistemas de ecuaciones diferenciales acopladas
- El modelo SI

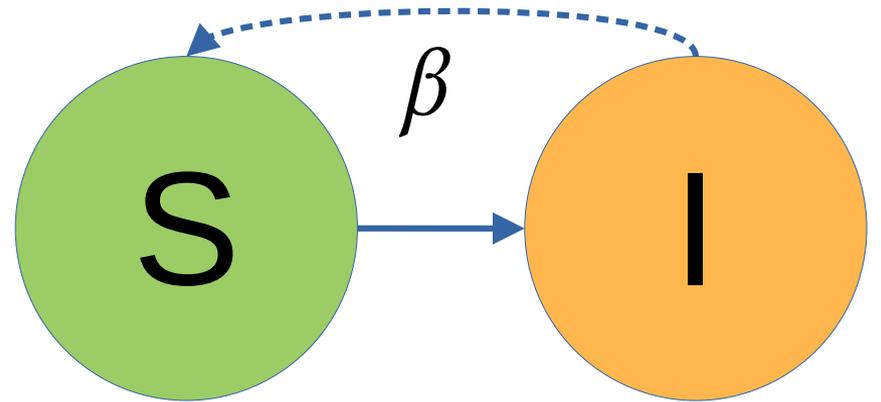
Ecuación para susceptibles $\frac{dS}{dt} = -\beta SI$

Ecuación para infectados $\frac{dI}{dt} = \beta SI$

Para estar acopladas
ambos términos
deben estar en
ambas ecuaciones

Diagrama del modelo SI

- Describe enfermedad de la que nunca se recuperan
- No hay mortalidad asociada
- Todxs serán infectadxs



El parámetro β

- S e I son variables de estado
- t es la variable independiente
- β es la tasa de transmisión

Lo que representa β

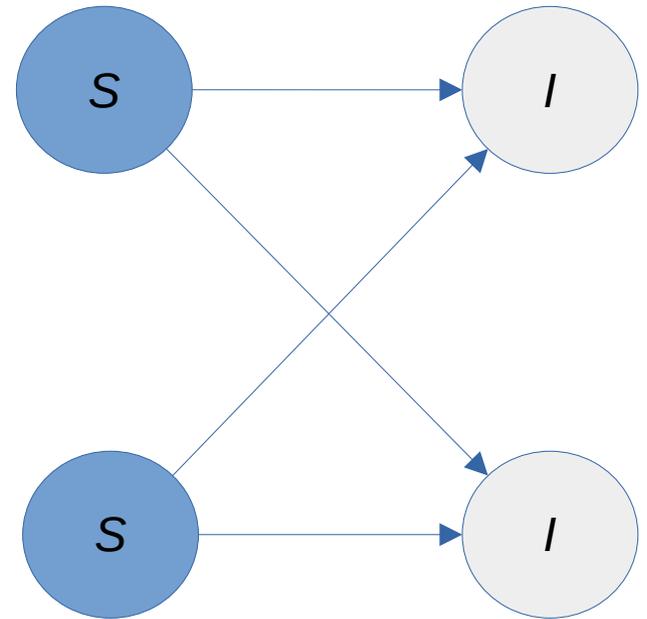
$S \times I$ = Total de contactos posibles por unidad de tiempo

¿Cuántos ocurren? (p_1)

¿Cuántos de los que ocurren llevan a transmisión? (p_2)

¿En cuántos casos de transmisión se desarrolla el patógeno/parásito? (p_3)

$$\beta \approx p_1 \times p_2 \times p_3$$



Resolvamos el modelo SI en R