



INENCO  
  
CONICET  
UNSa



# Modelos en biología de Poblaciones

(Usos, abusos y aplicaciones a enfermedades tropicales en el norte de Salta)

Juan P. Aparicio

Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional

Universidad Nacional de Salta

# PROGRAMA

- Ejemplo motivador
- Introducción: tipos de modelos
- Ejemplos
- Discusión (batalla campal y destrucción del salón es opcional)

# EJEMPLO

CMAJ

## HOLIDAY REVIEW

FAUX REVIEW

### A report on the zombie outbreak of 2009: how mathematics can save us (no, really)

Dr. Robert Smith? MSc PhD

#### ABSTRACT

An outbreak of zombification wreaked havoc recently in Canada and the rest of the world. Mathematical models were created to establish the speed of zombie infection and evaluate potential scenarios for intervention, mainly because mathematicians don't have anything better to do with their time. We review the development of these models and their effect on the undead.

In August 2009, a new disease emerged in North America and quickly made its way around the world.<sup>1</sup> Media reports suggest the outbreak began in Ottawa<sup>2</sup> but rapidly spread across Canada<sup>3,4</sup> and was transported thereafter to the United States<sup>5</sup> and the United Kingdom.<sup>6,7</sup>

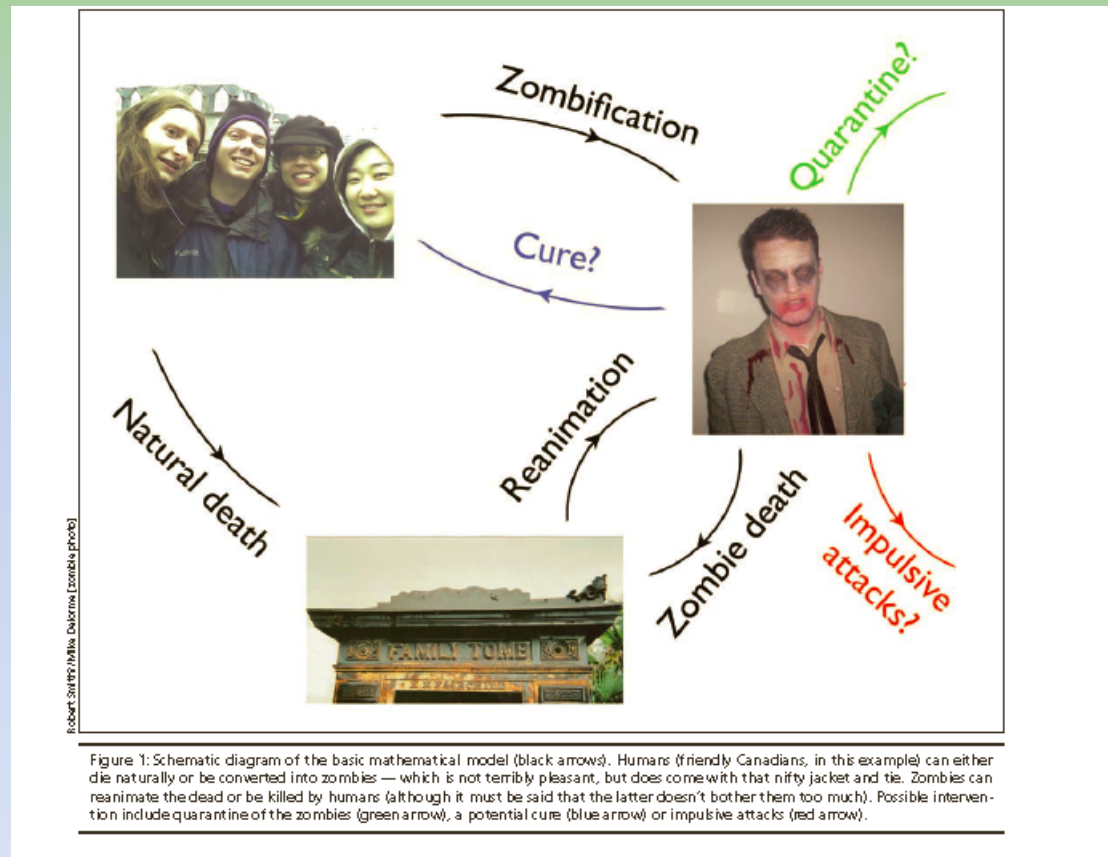
The infection resulted in a new species of human, classified as *non mortuus contagio*, but known in the popular press as "zombie", from the Congolese *nzambi*, meaning "spirit of a dead person." As the name implies, the outbreak resulted in a resurgence of the previously deceased. Clinical signs



Courtesy of Sony Pictures Classics

designed (Figure 1). As shown by the model, humans could be infected by contact with a zombie, whereas zombies could be created either through the conversion of humans or reani-

# MODELO (PARTE I)



## Modelo (parte II)

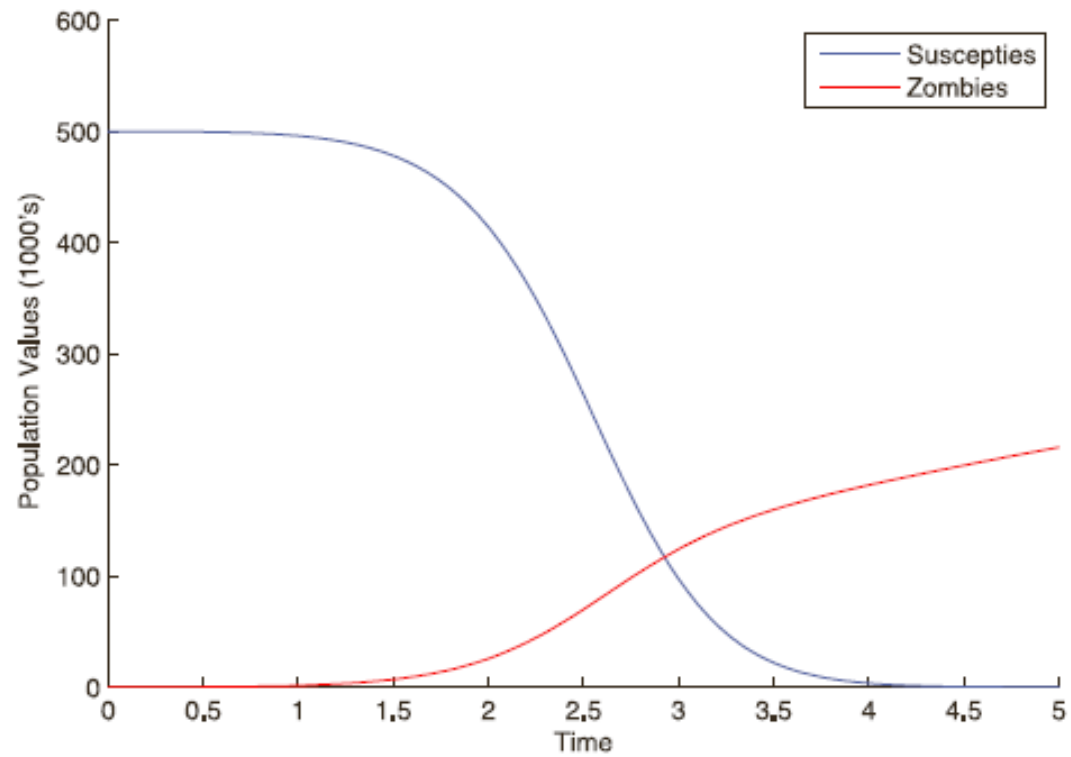
$$dS / dt = \Lambda - \beta SZ - \mu S$$

$$dZ / dt = \beta SZ - dZ + rM$$

$$dM / dt = dZ - rM$$

# Soluciones

## A. The basic model



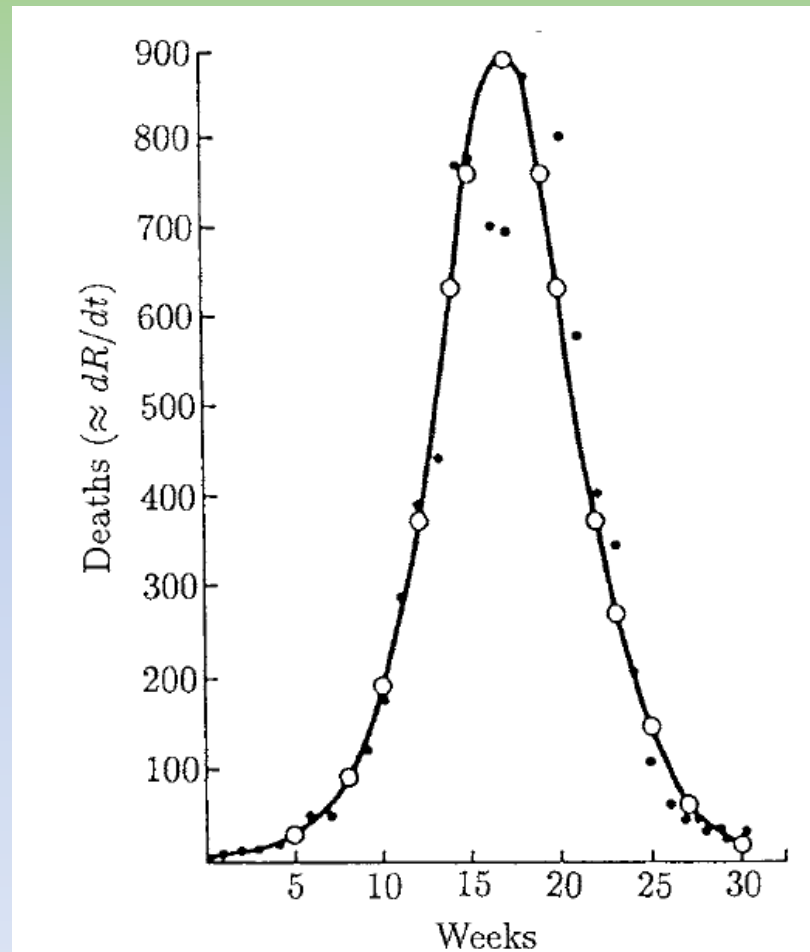
The model with treatment

# Conclusiones preliminares

- Estamos fritos!
- Pero...
  - ¿Qué tan confiables son los resultados?
  - Por ejemplo:

¿Dónde está Brapit?
- Un modelo tan simple... ¿puede explicar algo tan complejo como el Apocalipsis Zombi?

# Plaga de Bombay



Numero de muertos en la Plaga de Bombay (1905-1906).

El modelo simple parece funcionar.

Funciona?



# Conclusiones preliminares

- Los modelos son NECESARIAMENTE una simplificación de la realidad.
- Las conclusiones deben ejercerse SIEMPRE con PRECAUCION

# Introducción

- En Biología de poblaciones (epidemiología, ecología, evolución, etc.) No existen leyes...
- (La única ley en biología es la inexistencia de leyes)
- Biología y Física son muy diferentes...
- En general no podemos hacer predicciones...

# Introducción

- Dos tipos de modelos:
  - Modelos conceptuales: Simples. Generales. Resaltan la idea que queremos presentar.
  - Modelos Aplicados: Complejos. Específicos. Soluciones numéricas.

# Introducción

- Los modelos son NECESARIAMENTE una simplificación de la realidad:
- El valor PREDICTIVO no es el mas importante...
- ¿Cuáles son entonces los VALORES importantes?

# ¿Para que sirven los modelos?

- Si los modelos no sirven para PREDECIR, ¿Para que sirven?
- Para MI sirven fundamentalmente para:
  - Proveer Estructura y Orden
  - Probar Ideas
  - Explorar Escenarios

# Estructura y Orden

- Cuando modelamos debemos **elegir** las variables (por ejemplo: población infectada, población sana, etc.).
- Las variables varían... ¿Cuales son **eventos relevantes** que las hacen variar?
- Debemos establecer las **reglas** del juego

# Ejemplo. Estructura y Orden

## Modelos para dengue

- Epidemiología Básica
  - Mosquitos pican sobre humanos infectados y se infectan (con cierta probabilidad)
  - Mosquitos infectados pican sobre personas sanas y las infectan (con cierta probabilidad)

# Ejemplo. Estructura y Orden

## Modelos para dengue

- ¿Qué cosas necesitamos saber?
  - Variables: poblaciones sanas, infectadas, mas variables?
  - Probabilidades
  - Etc.



# Ejemplo. Estructura y Orden

## Modelos para dengue

- ¿Qué cosas necesitamos saber?
  - Cosas de las personas
    - Edad? sexo? Patrones de movilidad? Condiciones de vida?
    - Periodos latente, infeccioso, infectividad variable?  
Como responden las personas a los mosquitos?

# Ejemplo Estructura y Orden

## Modelos para dengue

- ¿Qué cosas necesitamos saber?
  - Cosas de los mosquitos
    - Cuanto viven?
    - Cuanto pican?
    - Como pican?
    - Como se dispersan?

# Estructura y Orden

## Resumen:

Al crear un mundo desde cero nos debemos preguntar muchas cosas como:

¿Cuáles son las variables relevantes?

¿Cuáles son los procesos relevantes?

¿ Cuanto valen los parámetros?

Este proceso de **Análisis** nos brinda estructura y orden.

# Estructura y Orden

## Resumen:

Tanto al desarrollar un modelo como al estudiar su dinámica aparecerán cosas que antes no nos habíamos preguntado...

La respuesta esta en la naturaleza...

# ¿Para que sirven los modelos?

- Estructura y orden
- Prueba de ideas
- Exploración de escenarios

# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

- En 1977 Robert May publicó su famoso artículo “Modelos simples con dinámica muy compleja”
- Consideremos una población de insectos. Con generaciones discretas.

$$N(t + 1) = rN(t)$$

# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

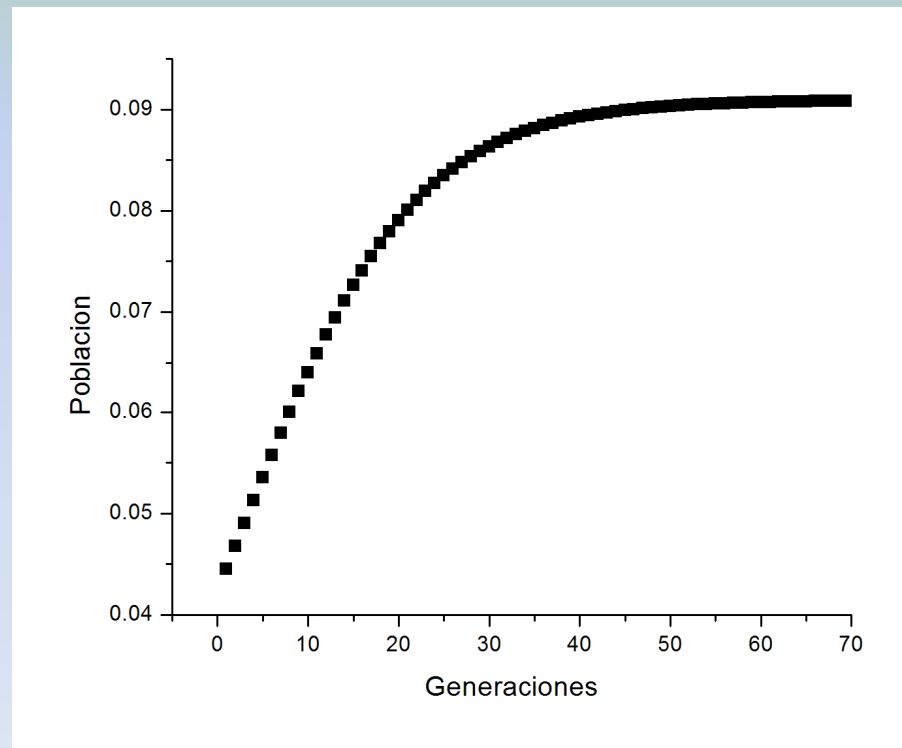
- En algún momento los recursos son limitantes...
- Archifamoso Mapa Logístico!!!

$$N(t + 1) = rN(t)[1 - N(t) / K]$$

# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

- Para  $1 < r < 3$        $N(t+1) = rN(t)[1 - N(t)/K]$

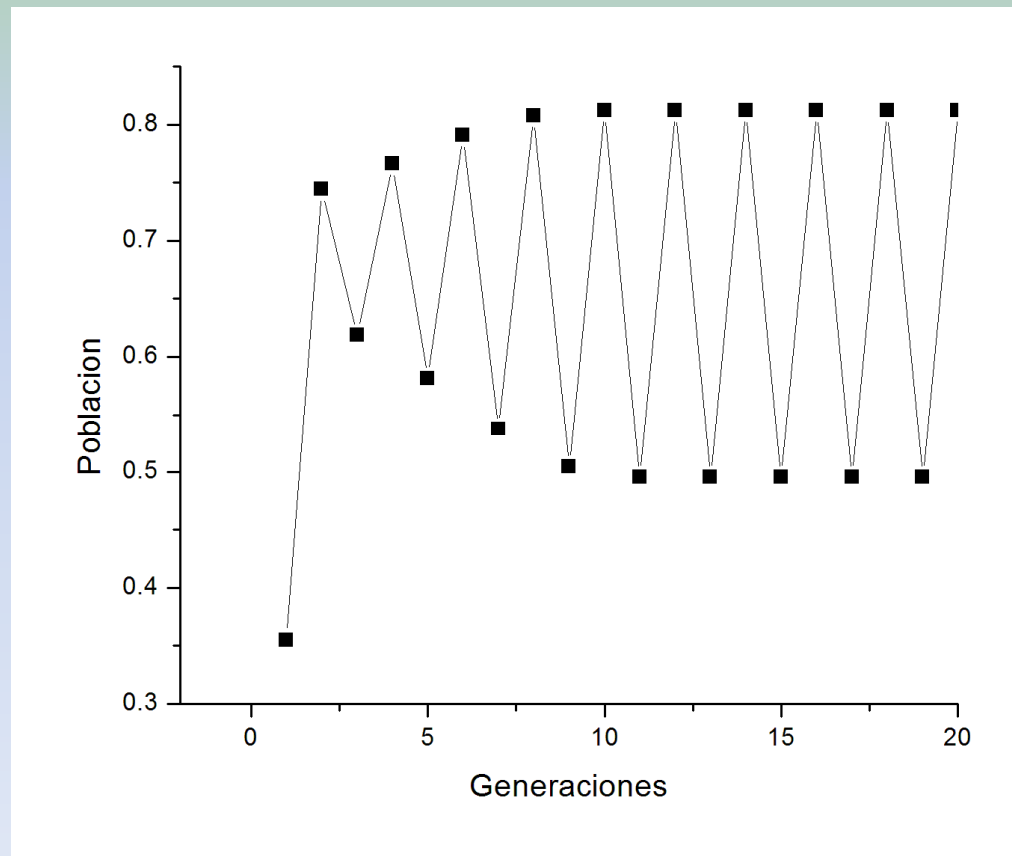




# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

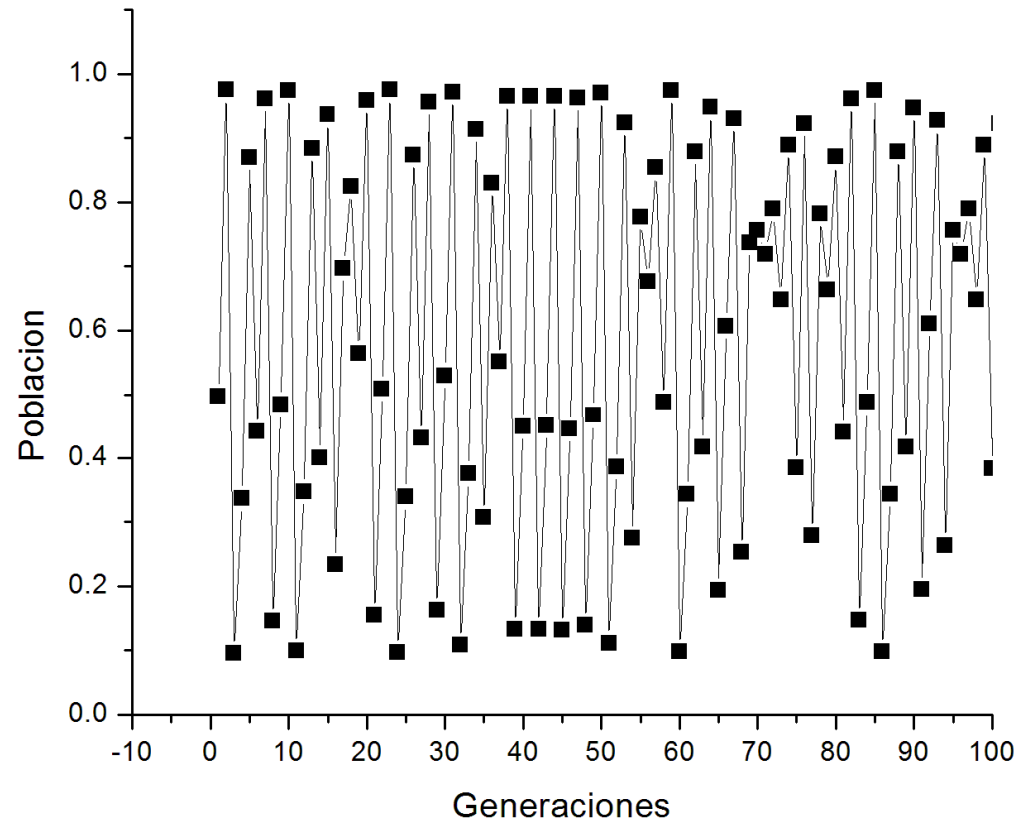
- Para  $r=3.25$        $N(t+1) = rN(t)[1 - N(t)/K]$



# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

- Para  $r=3.9$   $N(t+1) = rN(t)[1 - N(t)/K]$

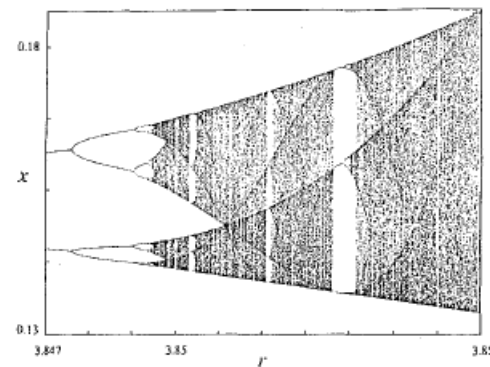
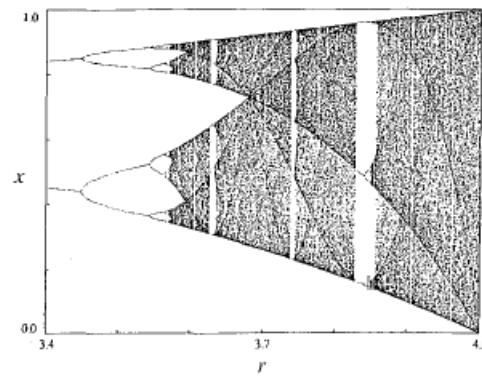


**CAOS!**

# Prueba de Ideas

## Ejemplo: CAOS, estas ahí?

### Ta re-loco



# Intermedio

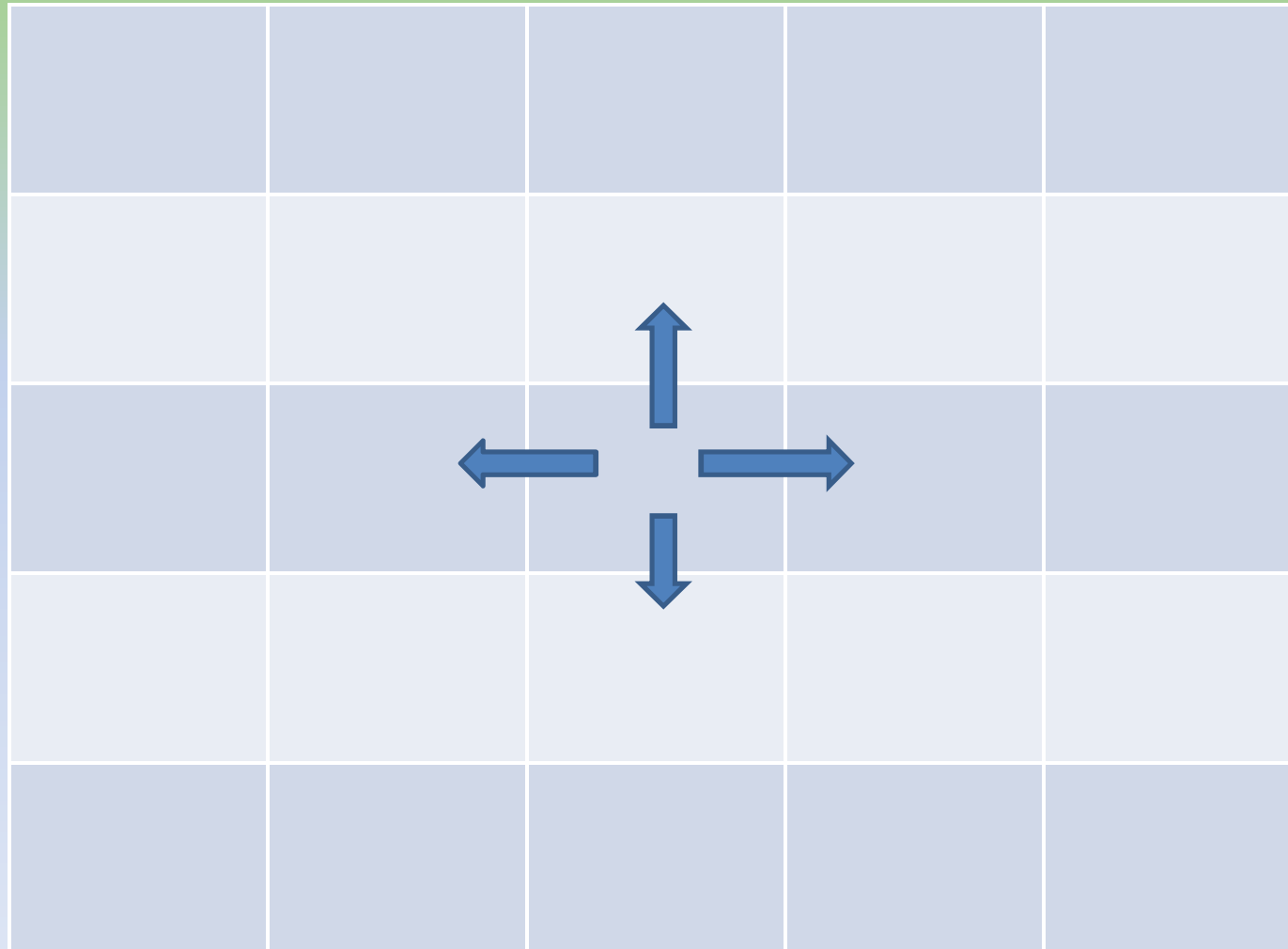
- Si no dudan de esto, pero si de los zombies de Ottawa, estamos mal....

# Fin del Intermedio

- Volvamos al problema.
- Problema:
  - Una tasa de reemplazo ( $r$ ) cerca de cuatro no es nada para un insecto....
  - Caos debiera ser la norma...
  - Pero no se lo encuentra...
  - Guat japen!

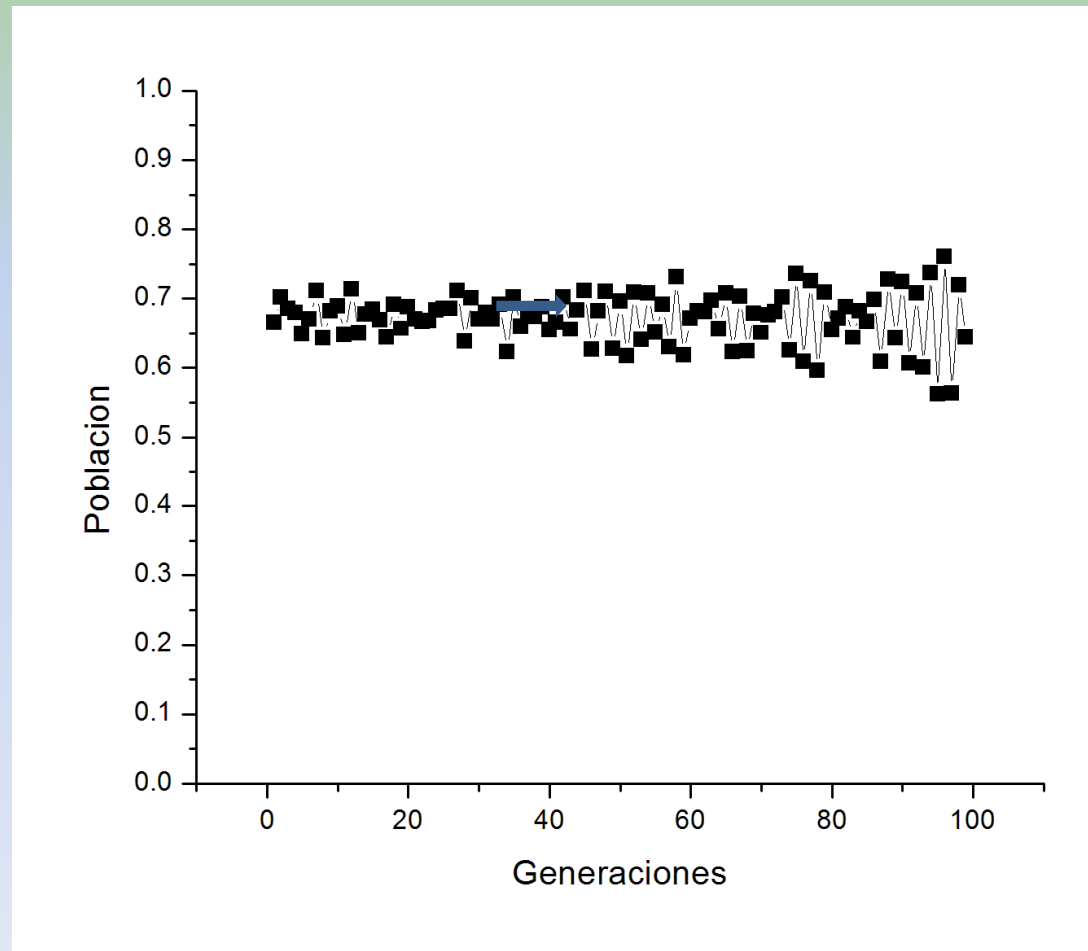
# Prueba de Ideas

## Demografía estocástica + dispersión

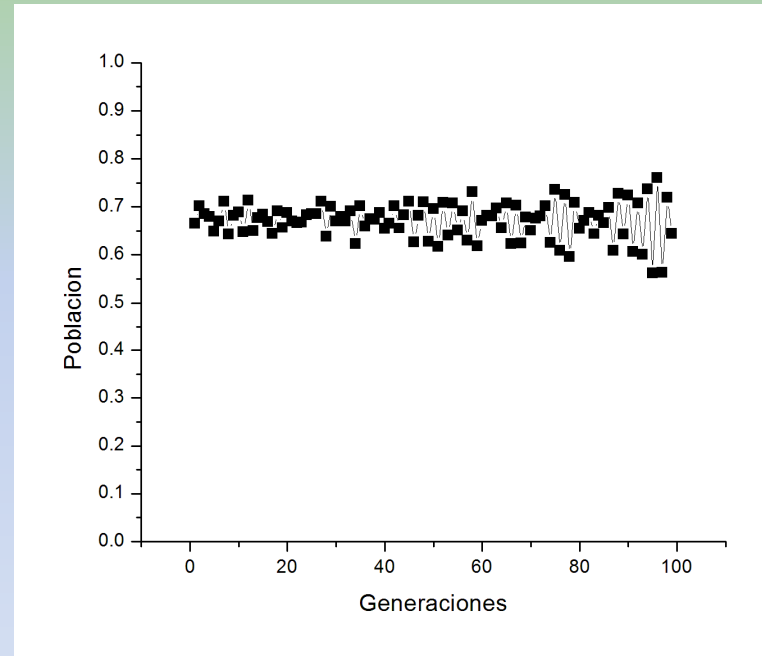
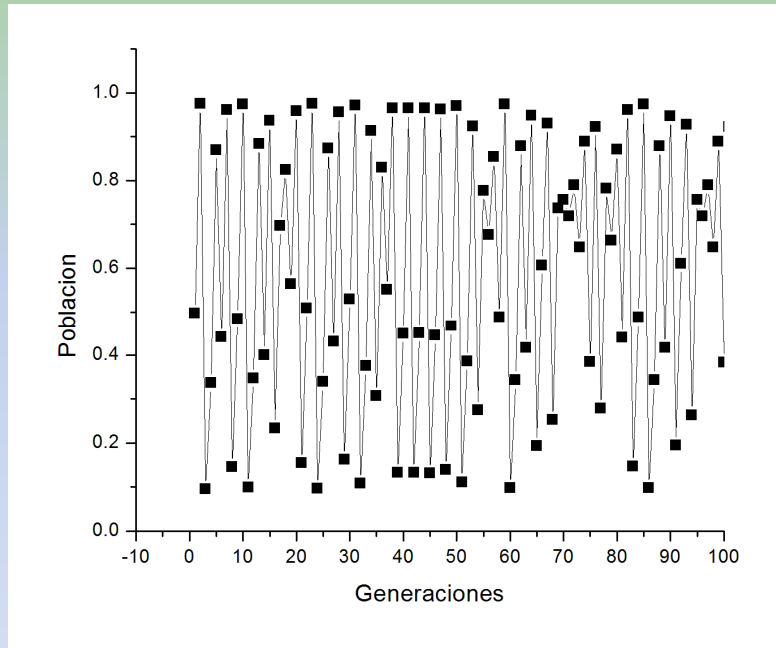


# Prueba de Ideas

## Demografía estocástica + dispersión=Caos indetectable

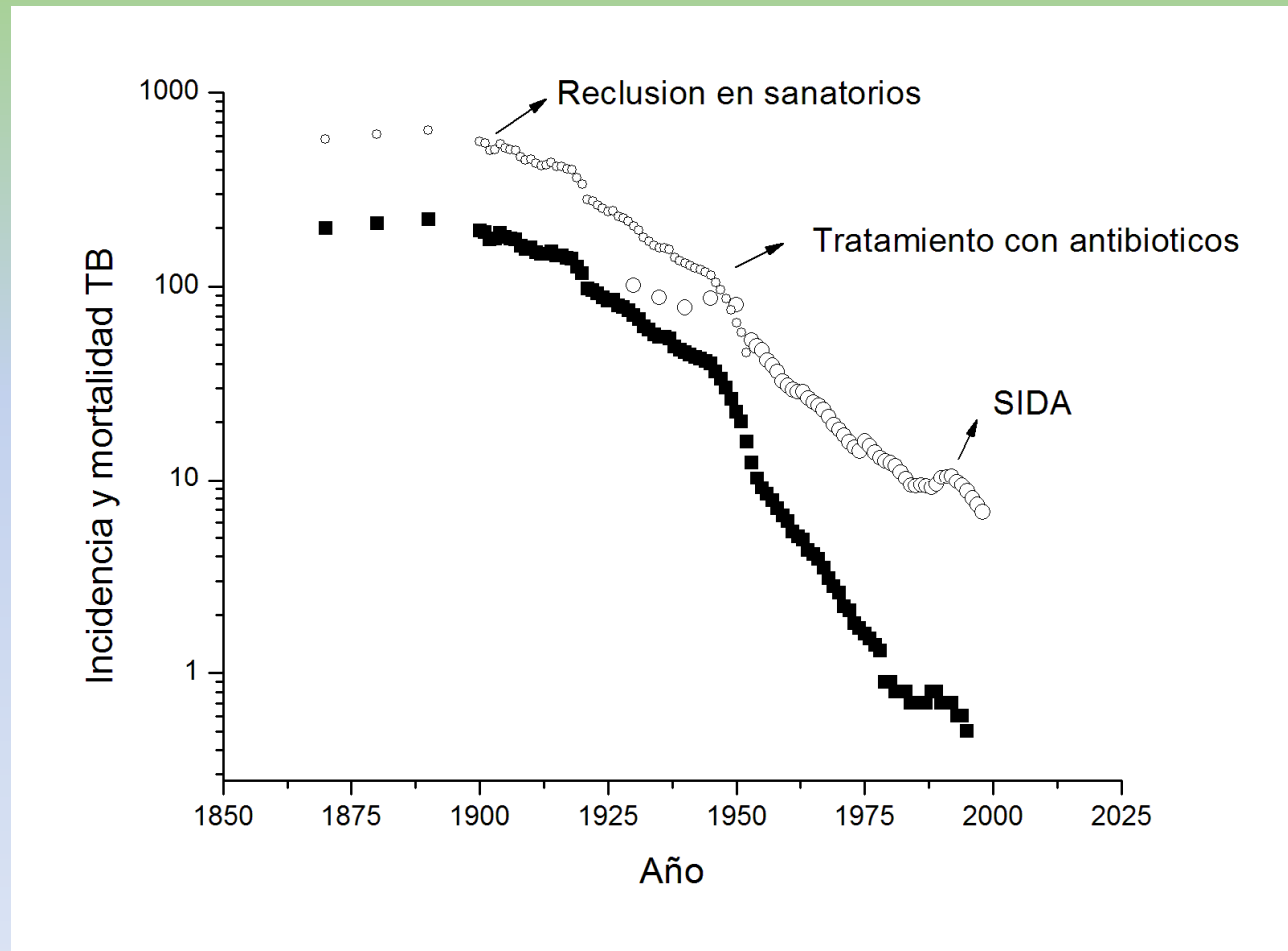


# Prueba de Ideas



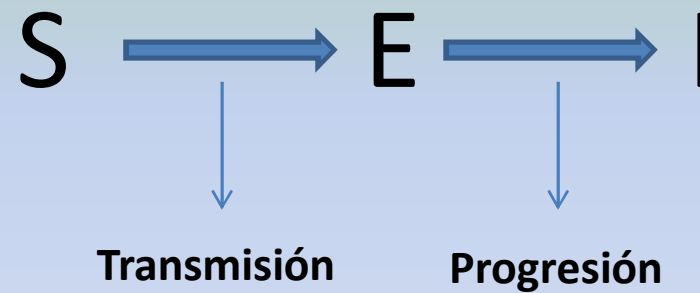


# Prueba de Ideas: Historia natural de la tuberculosis



# Prueba de Ideas: Tuberculosis

- Epidemiología Basica



Dos mecanismos: Transmisión y Progresión

# Prueba de Ideas: Tuberculosis

- Dos visiones:
  - Logro de la medicina
  - Logro de las mejoras sociales
- Reclusión en sanatorios, tratamientos efectivos disminuyeron la *transmisión*.
- Mejoras de las condiciones de vida disminuyeron la *progresión*.

# Prueba de Ideas: Tuberculosis

- Construimos un modelo con las cosas básicas...
- Dos parámetros fundamentales
  - $f$  controla la progresión
  - $Q_0$  controla la transmisión
- Ajustamos las soluciones a los datos (dos escenarios)
  - Como debería haber variado progresión si la transmisión hubiera sido constante?
  - Como debería haber variado transmisión si la progresión hubiera sido constante?

# Prueba de Ideas: Tuberculosis

- Si progresión hubiera sido constante,

$$Q_{0\max} \approx 500 \quad (\text{muy alto!})$$

- Si transmisión hubiera sido constante

$$f_{\max} \approx 0.5 \quad (\text{compro})$$

# ¿Para que sirven los modelos?

- Estructura y orden
- Prueba de ideas
- Exploración de escenarios

# Prueba de Ideas

## Resumen

- Elegimos un modelo simple (Una variable dinámica, dos parámetros)
- Mostramos que al incorporación de características y procesos básicos pueden enmascarar el Caos (poblaciones discretas, eventos estocásticos, dispersión, escalas de medida)

# Prueba de Ideas

## Resumen

- Elegimos un modelo no tan simple pero con solo dos parámetros libres...casi)
- Mostramos que solo disminución en la transmisión no es plausible.



# Exploración de escenarios: Dengue en Oran

- Oran (y alrededores) tienen brotes, de distinto tamaño, todos los años...
- (Comparado con el resto de los problemas de los oranenses, esto no es preocupante)
- En el 2009 hubo una epidemia grande (en gran parte del país... )

(mismo año que la epidemia zombi en  
Ottawa!!!)

# Exploración de escenarios.

## Dengue en Oran: Algunas preguntas/objetivos

- Determinar el efecto de la heterogeneidad en la abundancia de *Ae. aegypti* en la distribución espacio-temporal de incidencia de dengue.
- Evaluar niveles de oviposturas y de índices larvarios de Breteau y viviendas como predictores de riesgo de una epidemia.
- Evaluar el impacto de las distintas medidas de intervención anti-vectoriales usadas actualmente en el curso de una epidemia.

# Exploración de Escenarios

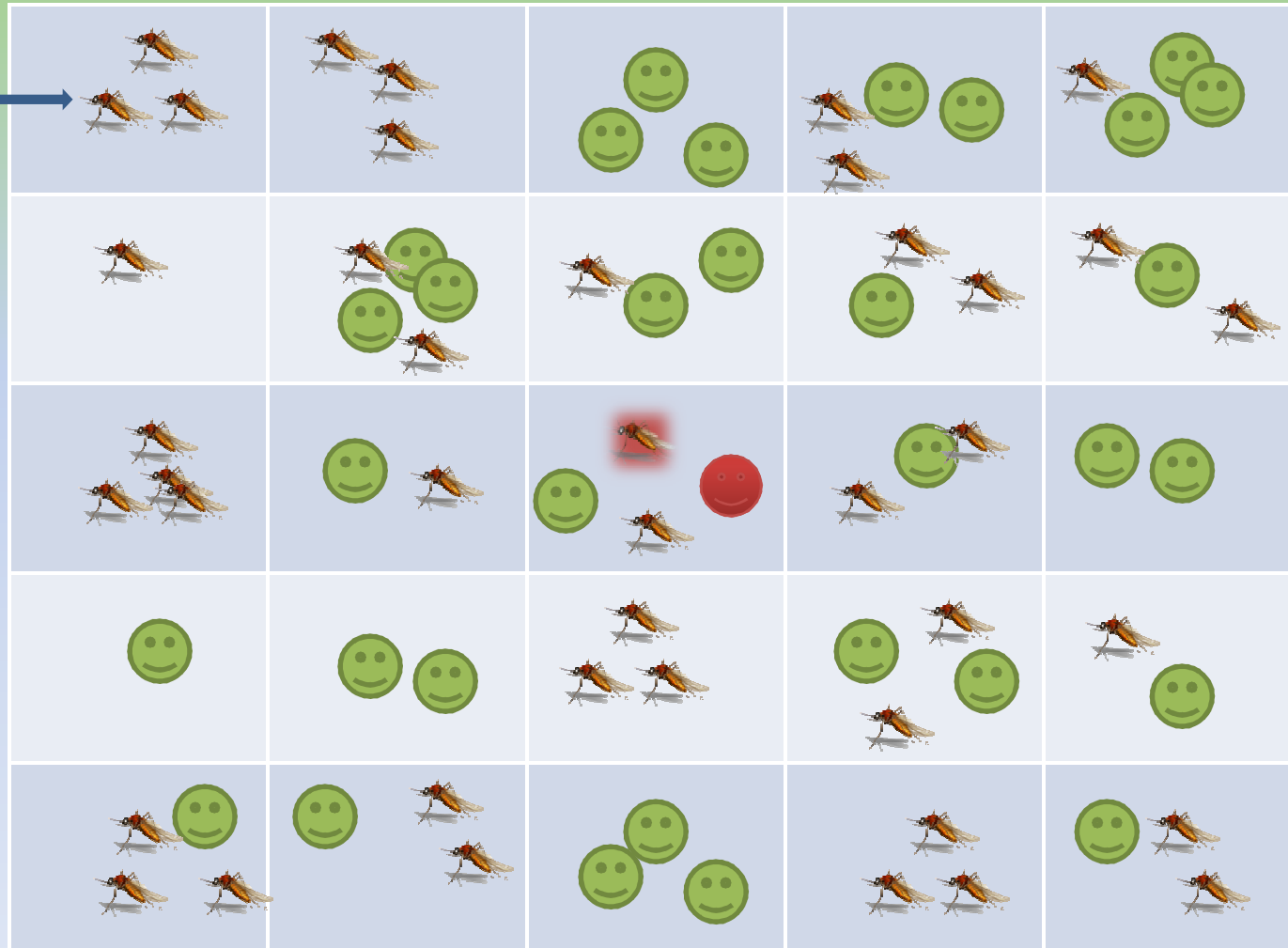
## Modelos para dengue

- Desarrollamos un modelo detallado:
  - Poblaciones humana y de mosquitos distribuidas espacialmente.
  - Patrones de movilidad (humanos y mosquitos).
  - Ciclo de vida del mosquito.
  - Etc...

# Exploración de Escenarios

## Modelos para dengue

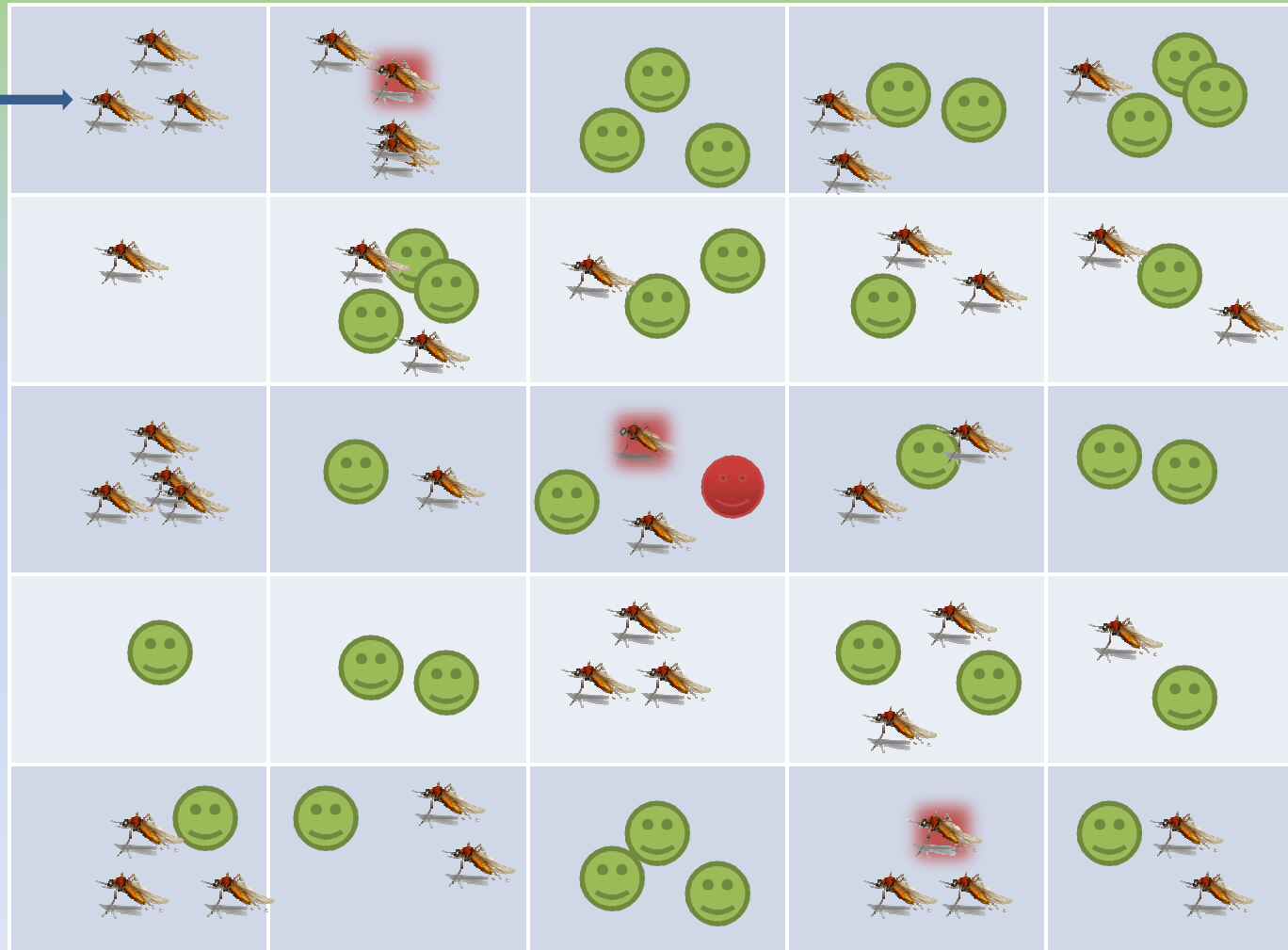
Manzana →



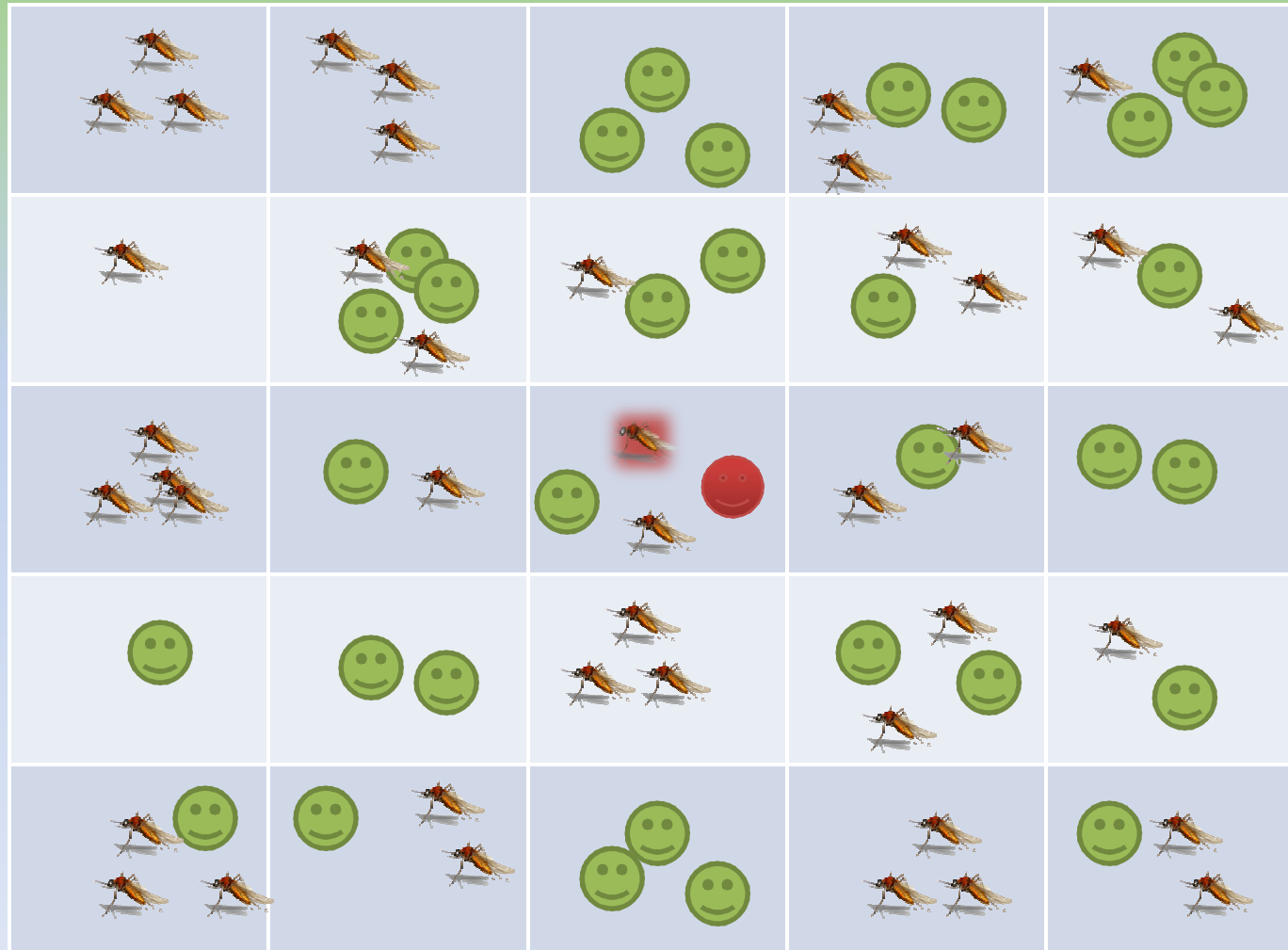
# Exploración de Escenarios

## Modelos para dengue

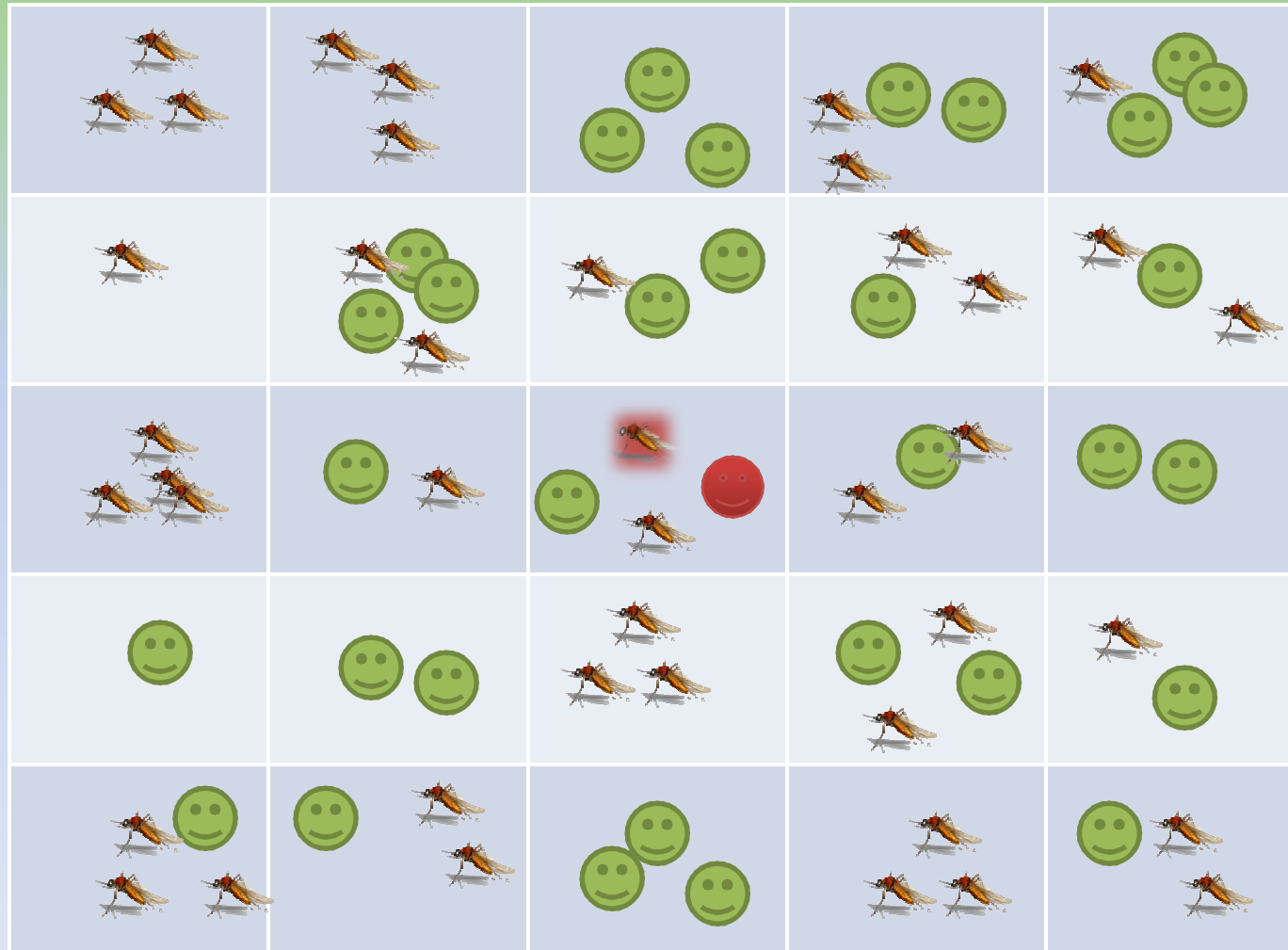
Manzana →



# Exploración de Escenarios: Medidas de control y epidemias

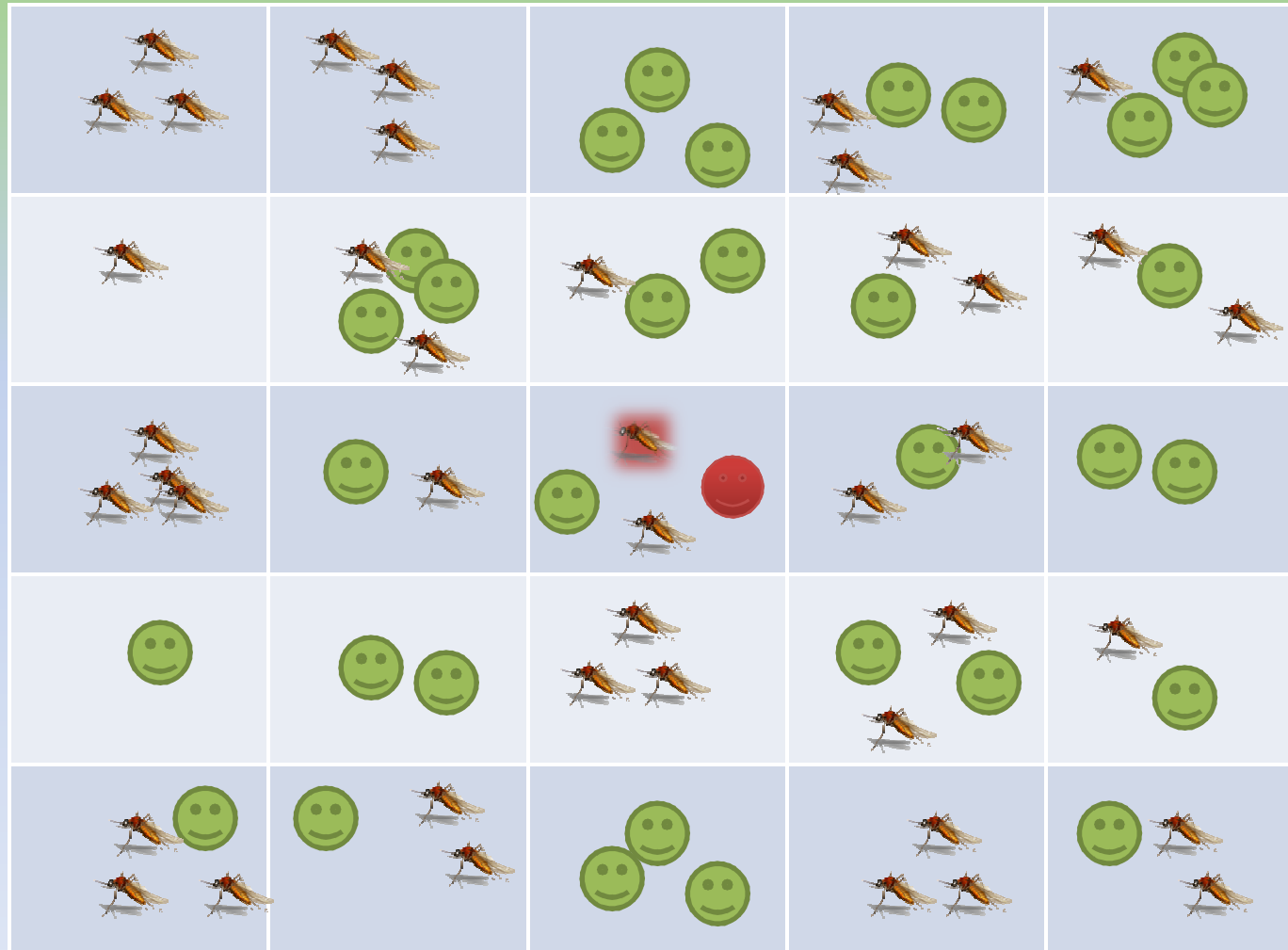


# Exploración de Escenarios: Medidas de control y epidemias



# Exploración de Escenarios

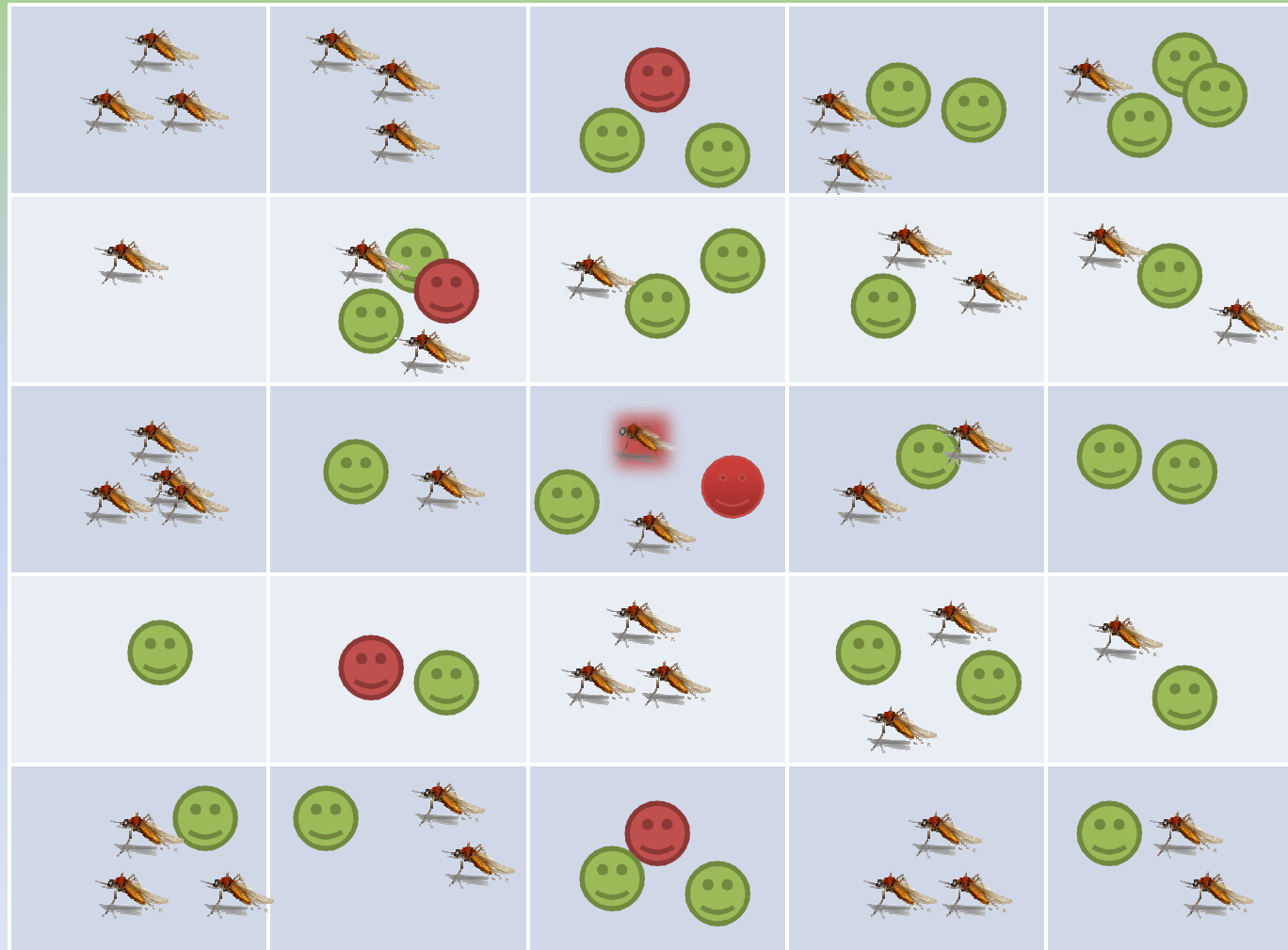
## Medidas de control y epidemias



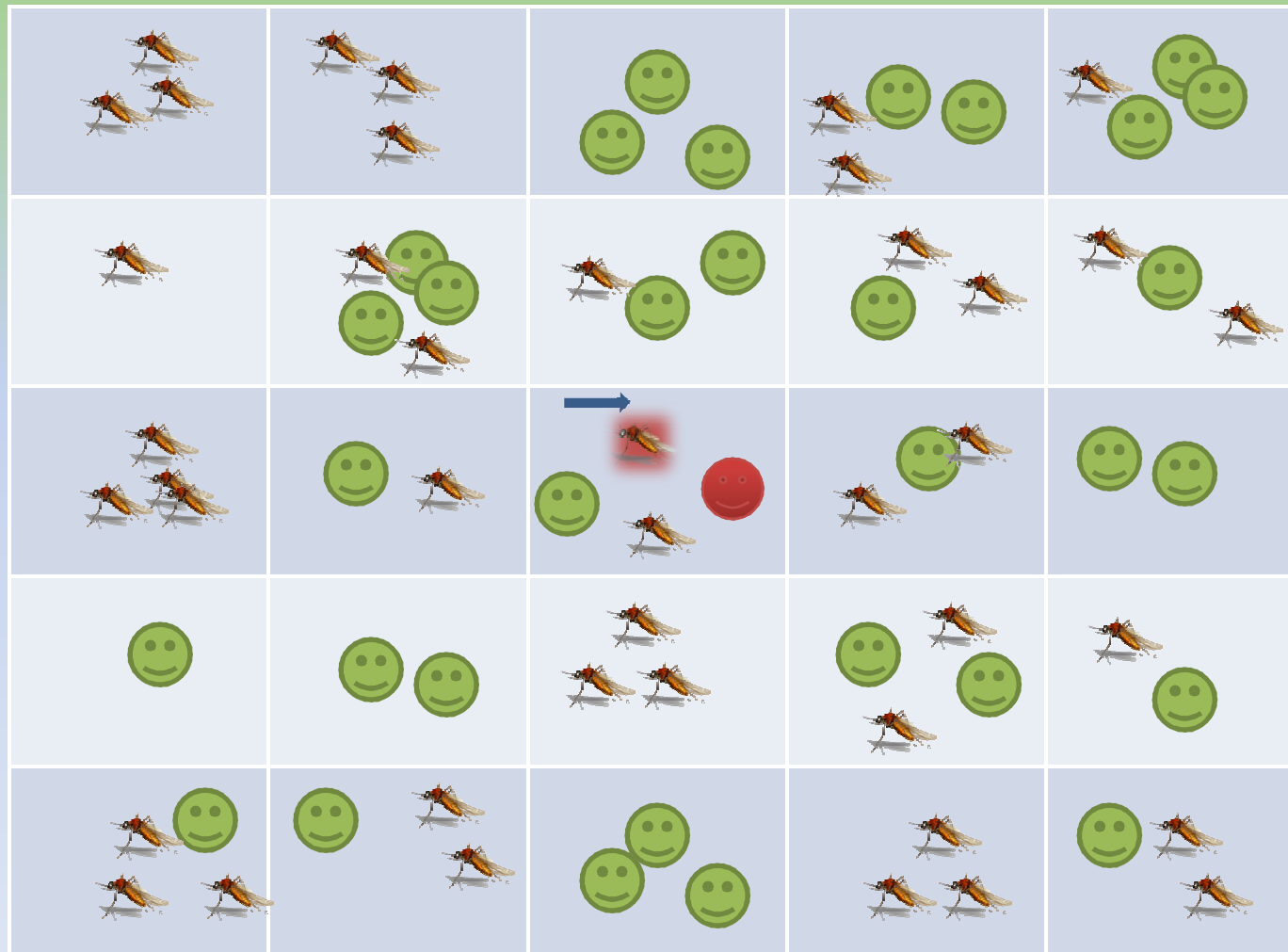


# Exploración de Escenarios

## Medidas de control y epidemias



# Exploración de Escenarios: Medidas de control y epidemias



# Exploración de Escenarios: Medidas de control y epidemias



# Exploración de escenarios

## Resumen

- Creamos un mundo virtual en donde somos dios.
- Cambiamos las condiciones y le damos libre albedrio (o no...) a los objetos.
- Vemos que pasa en estos experimentos numéricos
- Concluimos algo, o no.

# Conclusiones

- El desarrollo de un modelo es un proceso de análisis del sistema: variables, procesos, parámetros....
- Nos ayuda en la Estructura y Orden

# Conclusiones

- Si queremos explorar o contar algún concepto general buscamos modelos simples, con la menor cantidad de parámetros posibles.
- Los resultados no pueden utilizarse para ningún sistema en particular... (ahí necesitamos modelos mas complejos).
- Nos ayudan a entender los procesos básicos y generales.
- Sirven para avanzar en el desarrollo de la teoría

# Conclusiones

- Modelos matemáticos y computacionales son muy útiles para probar escenarios.
- En algunos casos los experimentos no pueden hacerse por razones éticas
- En otros permite la exploración de alternativas en forma rápida y económica.
- Ayudan a guiar los trabajos de campo.
- Sugieren nuevos trabajos de campo y laboratorio.

# Mensaje Final

Recuerden siempre preguntarse:

¿Donde está Brapit?





*Fin*

Comentarios, discusión,  
incendio del salón.



# Extractos

- “Mathematical modelling suggests that several potentially promising avenues of intervention against zombies would in fact be useless. Neither quarantine nor a cure are viable options and would only delay the inevitable by a few days. The best option remains arming oneself to the teeth, hitting the zombies hard and then hitting them harder the next time.”

# Extractos

- “...we face the extreme possibility of a world whose population is made up entirely of mathematicians and zombies. One of these groups spends all its time lurking in the darkness, with wild eyes, hair askew brains that don't work like those of normal humans. And the other group is the zombies.”