



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

Estimación de las **consecuencias sanitarias** de epidemias animales. Caso práctico con **PPC**.

Curso de gestión de alertas sanitarias
RASVE-MAGRAMA, 10/06/2015

[E. Fernández Carrión¹](#), M. Martínez Avilés¹

¹VISAVET (Centro de Vigilancia Veterinaria Sanitaria Veterinaria, UCM)

Índice

1. Introducción
2. Enfermedades infecciosas
3. Modelos compartimentales
4. Herramientas predictivas: Be-FAST
5. Caso práctico: [PPC en Segovia](#)
6. Estudio *ad-hoc*

Parte teórica

Parte práctica

Tipos de consecuencias

- Clasificamos 3 tipos de consecuencias

1. Sanitarias

2. Económicas

3. Sociales *

- Cierre de colegios
- Sin suficientes recursos médicos
- Pérdidas en compañías de transporte
- Cierre de fronteras
- Sacrificios animales
- Etc...

http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_SARS_outbreak#June_2003

Síndrome respiratorio agudo grave (**SARS**)



Riesgo y probabilidad

- Tener **consecuencias** es inevitable



- Necesitamos herramientas que nos permitan **predecir el riesgo**



- Nuestro objetivo final es **minimizar las consecuencias**

Riesgo = Probabilidad x Consecuencias

Protocolo de actuación

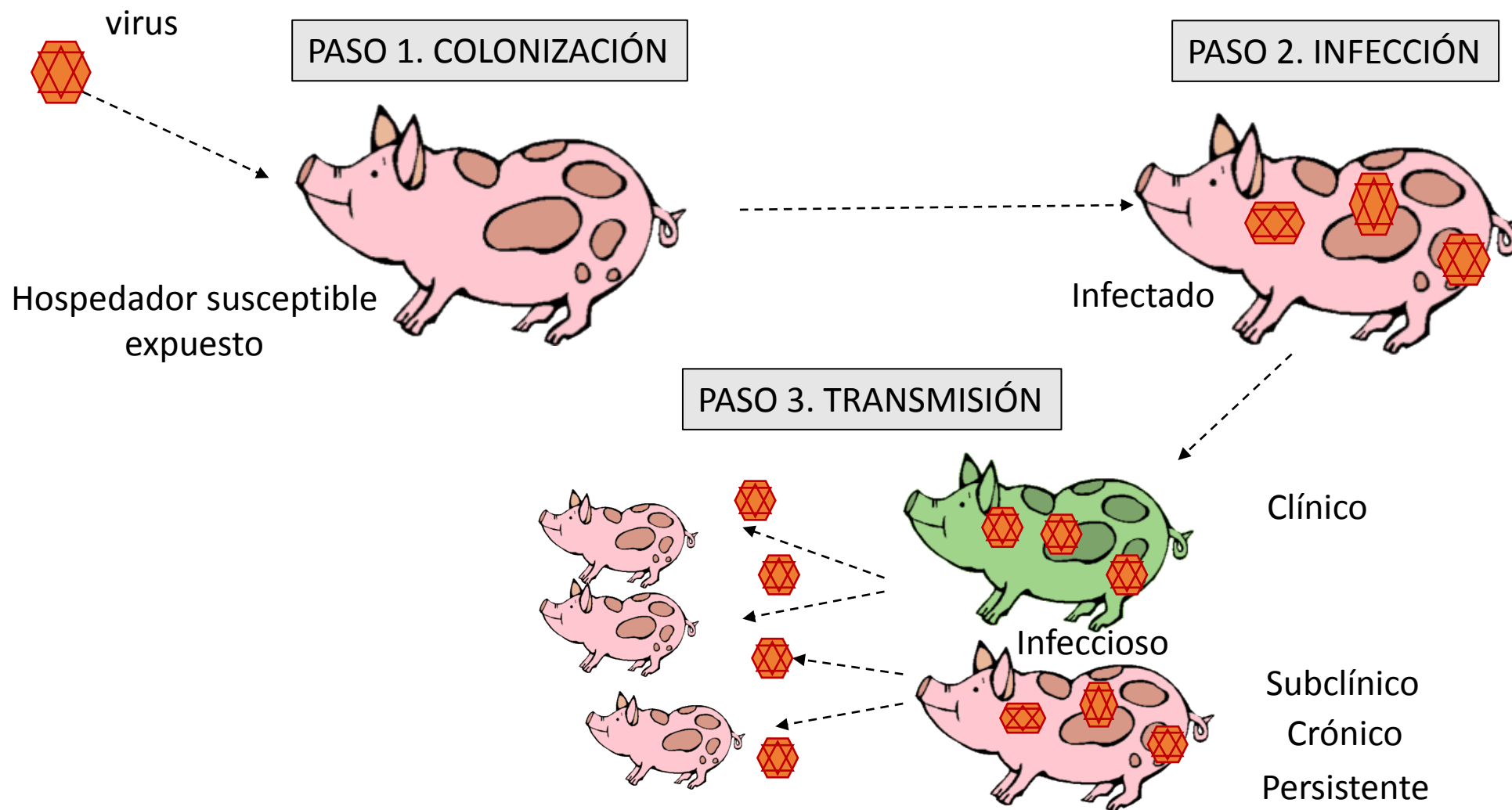
- Todo brote de enfermedad infecciosa debe tener un protocolo de actuación para **controlar y erradicar la enfermedad**
- Balancear el **coste sanitario y económico** para obtener mínimo impacto

**Impacto
Sanitario**



**Impacto
Económico**

Enfermedades infecciosas



Tipos de transmisión

directa

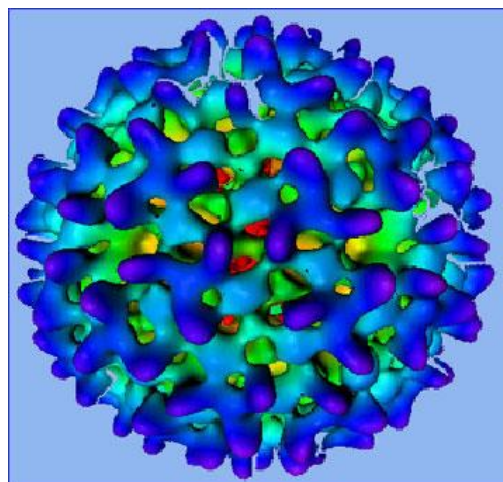
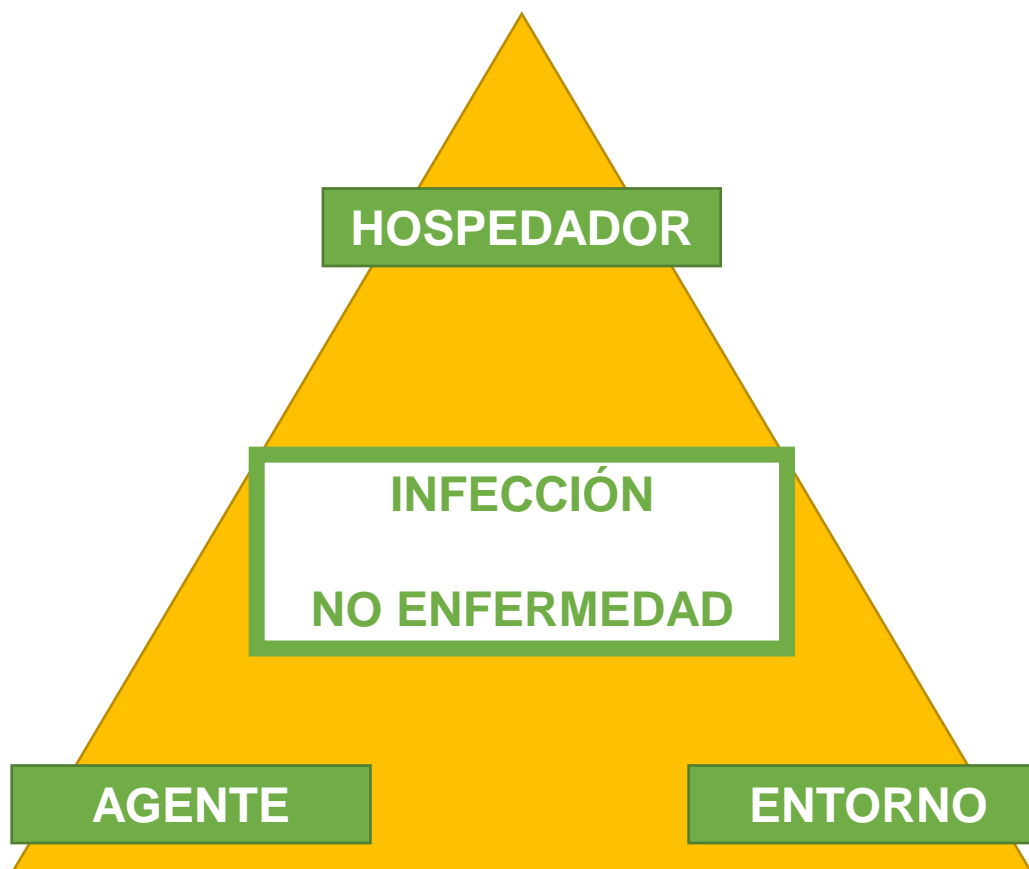
Contacto cutáneo
Estornudos
Fecal-oral
Mucosa a mucosa
Parto, placenta
Contacto con sangre: heridas

indirecta

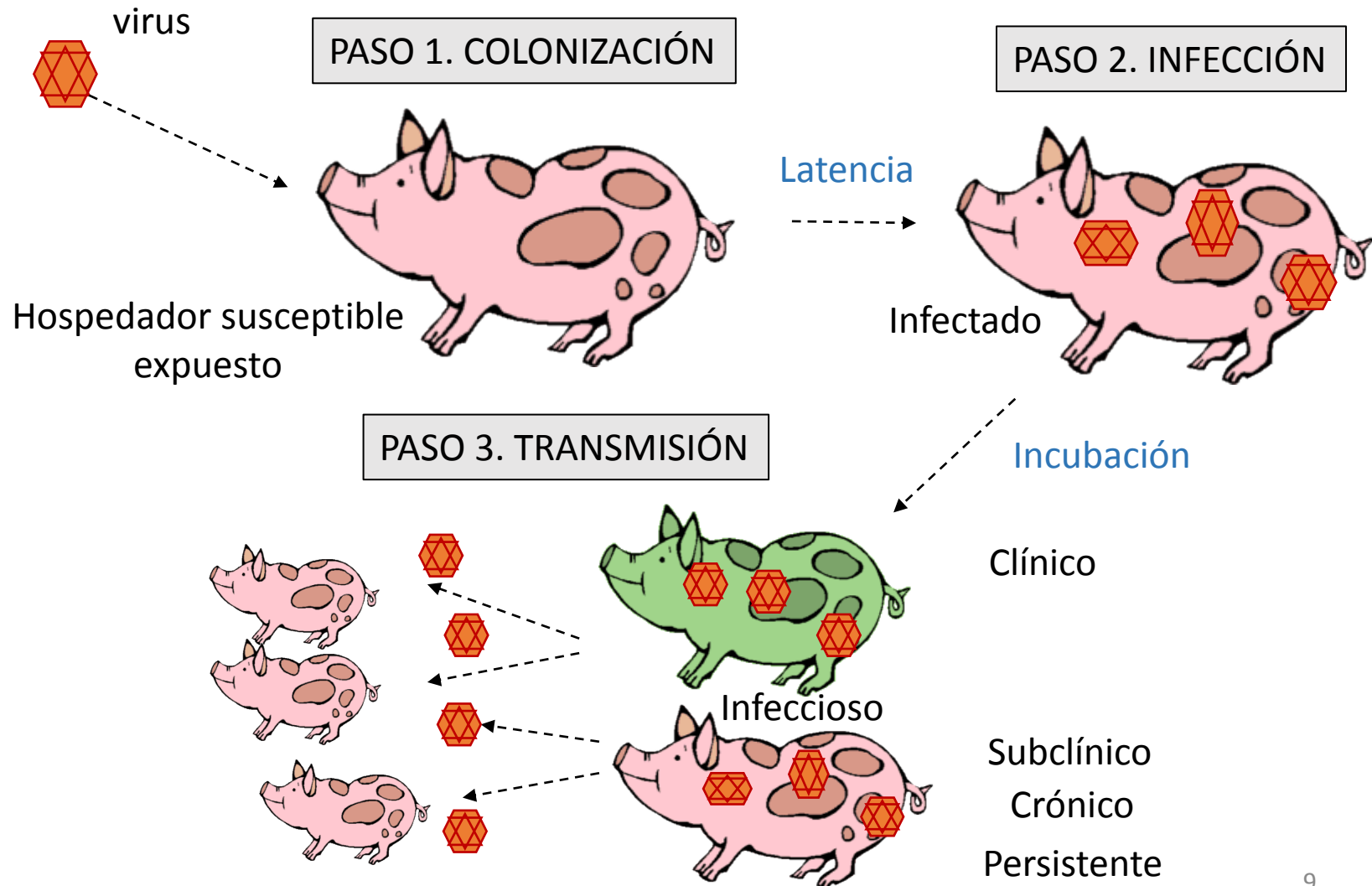
Medio común: agua, alimento, objetos,
transporte, salas, manejo
Vectores
Vía aérea

Manejo
Tipo producción
Bioseguridad

Factores que afectan a la transmisión



Factores medibles



INFECTIVIDAD

Capacidad de penetrar y multiplicarse en un hospedador.
Tasa de ataque serológica.

PATOGENICIDAD

Capacidad de producir enfermedad. Tasas de letalidad y morbilidad.

INMUNOGENICIDAD

Capacidad de producir inmunidad específica y duradera.
Resistencia.

TRANSMISIBILIDAD Capacidad de diseminación o extensión de la infección. R_0 (nº de reproducción básico)

Poblaciones de un modelo SIR

- Dividimos una población heterogénea en tres estados principales
 - Susceptibles (S)
 - Infectados (I)
 - Recuperados (R)



- De esta forma, el total de la población es $N = S + I + R$

Factores medibles en un modelo SIR

- Nuestro objetivo es estudiar y predecir el comportamiento de la población en función del tiempo.
 - $S(t)$, $I(t)$ y $R(t)$
- Las tasas de contacto efectivo (β), morbilidad o resistencia (γ), así como los tiempos de latencia e incubación son variables ya estudiadas para cada enfermedad.
- Por tanto, podemos estimar ecuaciones

Ecuaciones del modelo SIR

$$S(t) = S(t - 1) - \beta \cdot S(t) \cdot I(t),$$

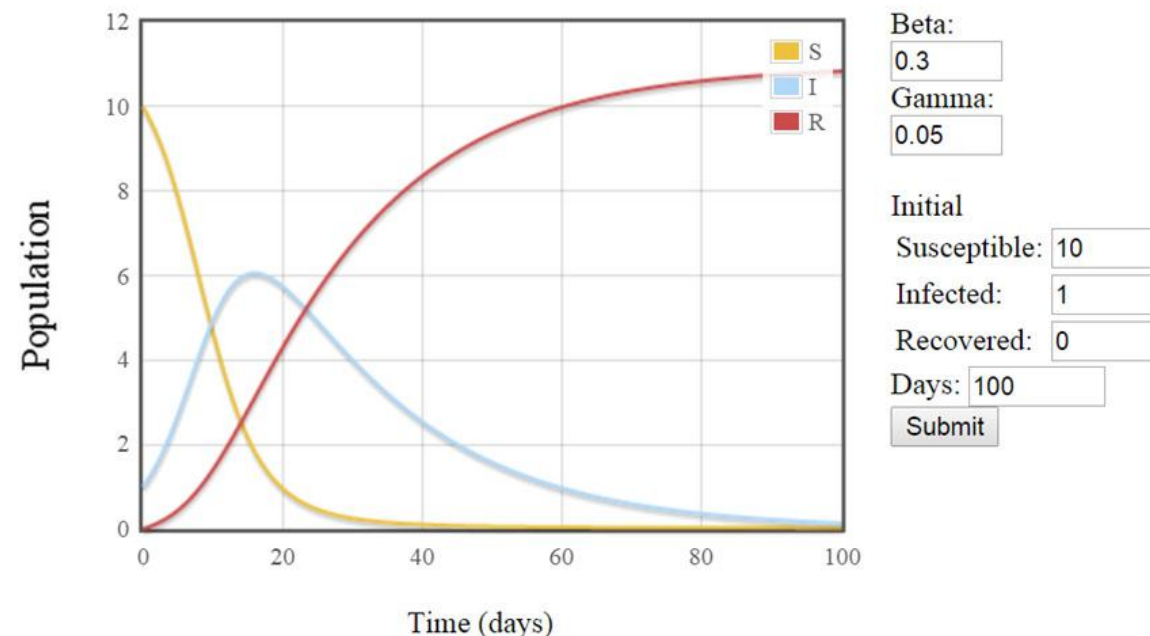
$$I(t) = I(t - 1) + \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t),$$

$$R(t) = R(t - 1) + \gamma \cdot I(t).$$

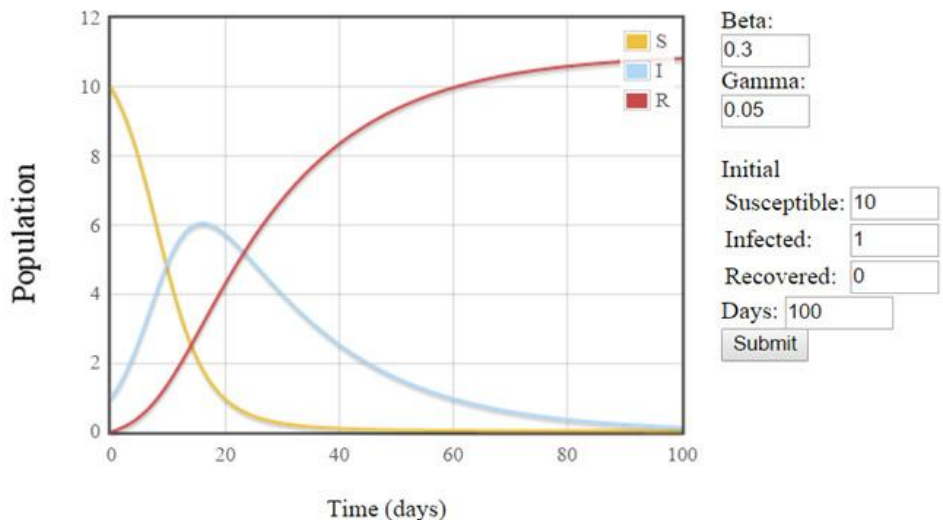
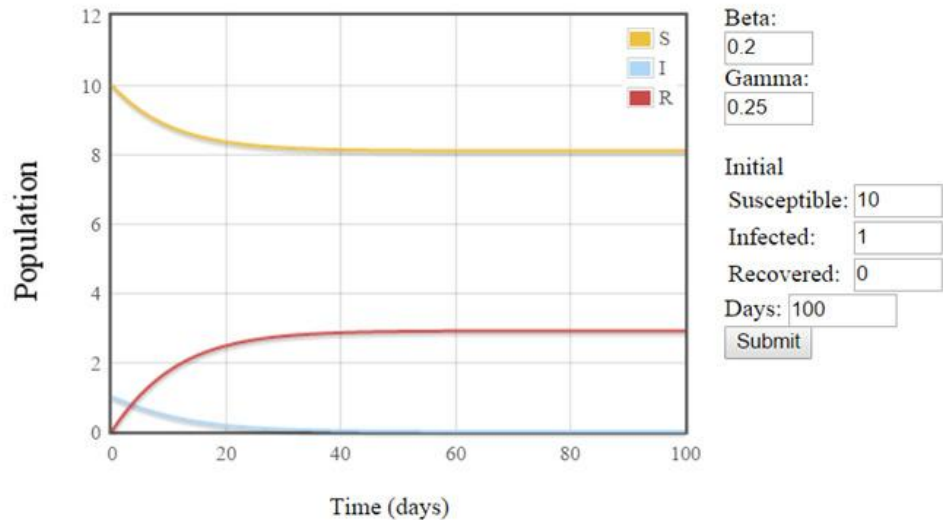
$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - \delta I \\ \frac{dR}{dt} &= \delta I \end{aligned}$$



Gráfico evolutivo en el tiempo



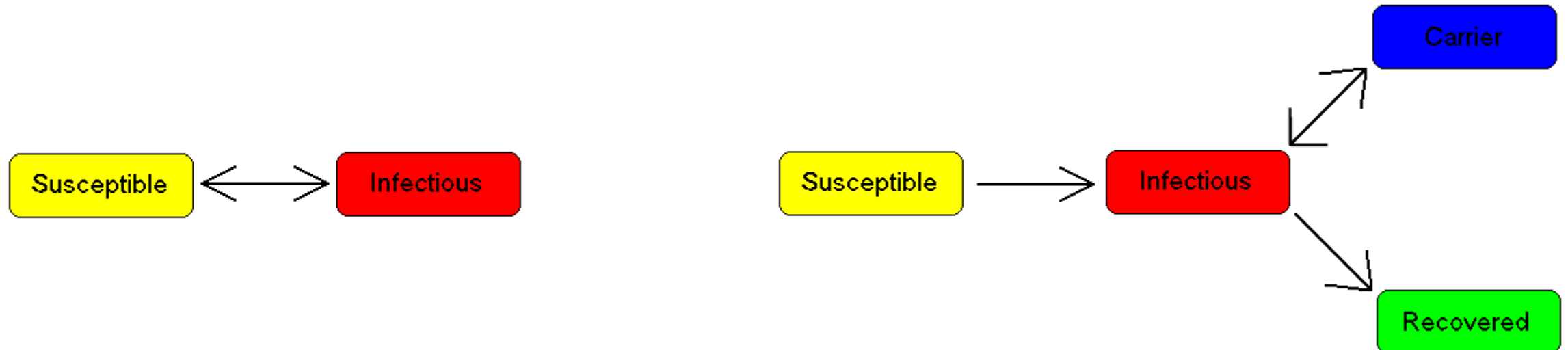
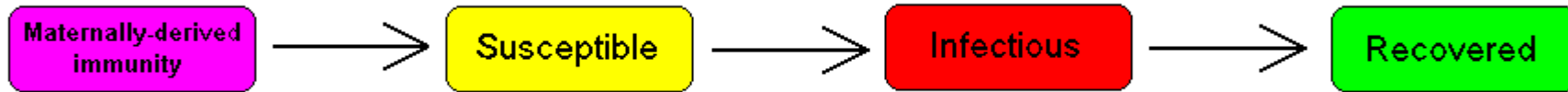
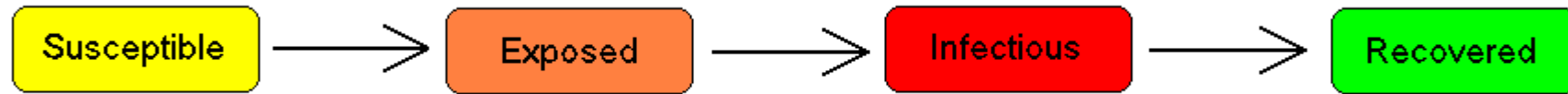
Importancia de los parámetros



- $R_0 \rightarrow$ Basic reproduction number
- Representa el número esperado de nuevas infecciones a partir de una nueva infección
 - $R_0 > 1 \rightarrow$ Epidemia
- La fórmula de R_0 depende siempre de todos los demás parámetros

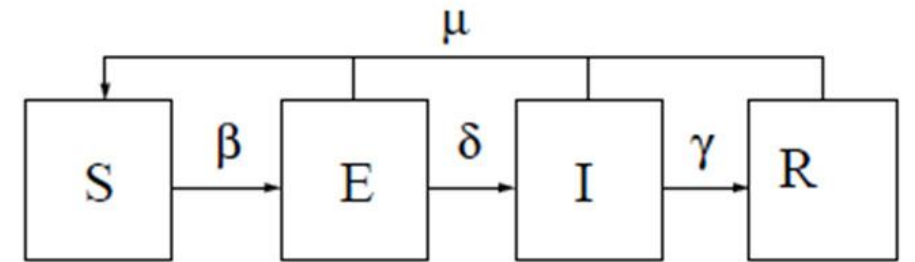
$$R_0 = \beta / \gamma$$
- R_0 es posiblemente el mejor descriptor de la virulencia de una enfermedad (epidemiología)

Otros modelos compartimentales



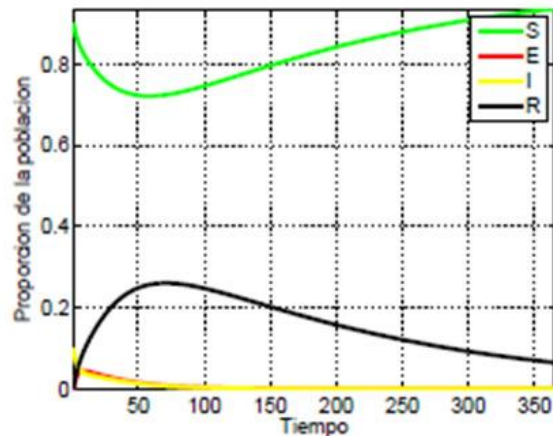
Modelo SEIR para PPC

- La población está dividida en 4 estados
 - $S \rightarrow$ susceptible
 - $E \rightarrow$ infectado, pero en fase latente
 - $I \rightarrow$ infeccioso, incubando y puede infectar a otros
 - $R \rightarrow$ muerto

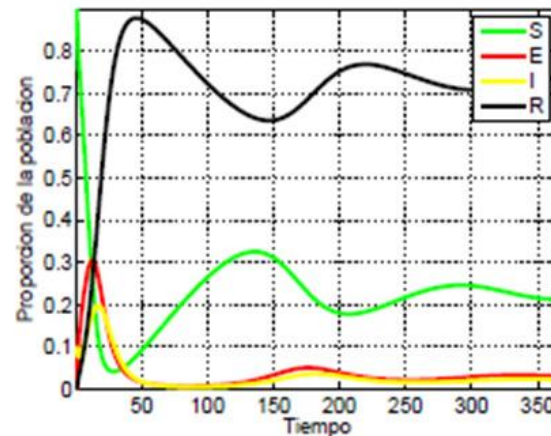


$$R_0 = \frac{\beta \delta}{(\delta + \mu)(\gamma + \mu)}$$

$R_0 \leq 1$



$R_0 > 1$



$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \frac{I(t)}{N} S(t) + \mu(E(t) + I(t) + R(t)),$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta \frac{I(t)}{N} S(t) - (\delta + \mu)E(t),$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \delta E(t) - (\gamma + \mu)I(t),$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - \mu R(t),$$

Herramientas predictivas

Be-FAST

BETWEEN-FARM-ANIMAL SPATIAL TRANSMISSION

- *Software* informático desarrollado por MOMAT (UCM) y VISAVET (UCM).
- Realiza simulaciones de posibles escenarios de epidemias en ganadería (PPC, PPA, LA...) en regiones concretas.
- Cada simulación computa un modelo espacial y temporal estocástico basado en modelos S-E-I-R dentro de cada granja infectada y entre granjas.

Herramientas predictivas

- Los resultados que ofrece nos permite estimar entre otros
 - Patrones de difusión
 - Áreas de riesgo
 - Eficiencia de las medidas de control
 - Pérdidas económicas
- Necesita una base de datos basada en
 - Descripción y localización de granjas de la región
 - Histórico-Red de movimientos de animales
- Ha sido adaptado, hasta ahora, con
 - PPA, PPC y LA
 - Segovia, Bulgaria, Cerdeña y Perú



Be-FAST

File Help

Home Report Economic Output

Set Up

Number of simulations:

Max. days per simulation:

Seed:

Initial Infected Farms:

Calendar:

First Day Infection:

Be-FAST

BETWEEN-FARM-ANIMAL SPATIAL TRANSMISSION

Parameters

Beta (farrowing):

Beta (fattening):

Beta (farrow-to-finish):

PI vehicles:

PI INT vehicles:

PI SDA persons:

Daily PD index case CS:

Daily PD CS:

PD tracing:

Modules

Local Spread:

SDA Spread:

INT Spread:

Movements:

Permute Movements:

Economic:

Market devaluation:

Input Files

Farms File:

Movements File:

Params File:

Output Files

Output Path:

Economic Parameters

Payable costs

Farms in CZ:

Farms in SZ:

Culling:

Cleaning/Disinfecting:

Lab. Test:

Transferred costs

Farrowing animal:

Fattening animal:

Farrow-to-finish animal:

Calculated costs

0%

Peste porcina clásica en Segovia

- Vamos a realizar un número apropiado de simulaciones en Be-FAST sobre una base de datos en
 - PPC y,
 - Segovia 2008
 - 2.235 piaras
 - 1.403.800 animales
 - 10.046 movimientos
- 1000 simulaciones
- Al introducir todos los parámetros en el programa, nos genera un **informe sanitario** con los resultados principales de todas las simulaciones

Be-FAST

File Help
Home Report Economic Output

Set Up

Number of simulations: 1000

Max. days per simulation: 1095

Seed: 1

Initial Infected Farms: 1

Calendar:

First Day Infection: 07/01/2015

Be-FAST

BETWEEN-FARM-ANIMAL SPATIAL TRANSMISSION

Parameters

Beta (farrowing): 0,4020

Beta (fattening): 0,5290

Beta (farrow-to-finish): 0,6560

PI vehicles: 0,0110

PI INT vehicles: 0,0068

PI SDA persons: 0,0068

Daily PD index case CS: 0,0300

Daily PD CS: 0,0600

PD tracing: 0,9500

Modules

Local Spread

SDA Spread

INT Spread

Movements

Permute Movements

Economic

Market devaluation

Input Files

Farms File: C:/Users/efc/Desktop/Curso MAGRAMA economico 2/BeFast/Release/FARMS.csv

Movements File: C:/Users/efc/Desktop/Curso MAGRAMA economico 2/BeFast/Release/MOVS.csv

Params File: C:/Users/efc/Desktop/Curso MAGRAMA economico 2/BeFast/Release/PARAMS.csv

Output Files

Output Path: C:/Users/efc/Desktop/Curso MAGRAMA economico 2/BeFast/Release

Economic Parameters

Payable costs

Farms in CZ: 0,00

Farms in SZ: 0,00

Culling: 0,00

Cleaning/Disinfecting: 0,00

Lab. Test: 0,00

Transferred costs

Farrowing animal: 0,00

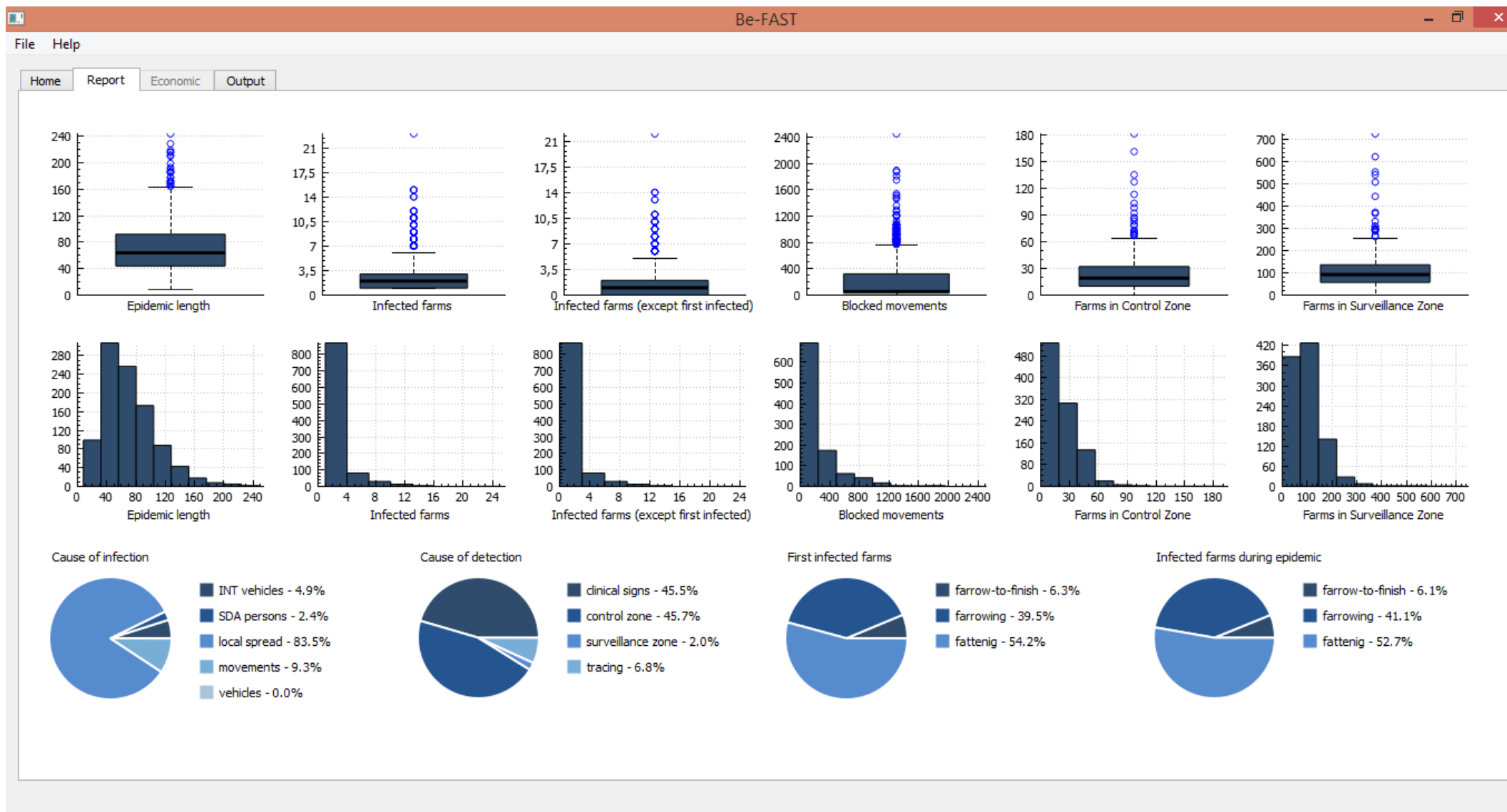
Fattening animal: 0,00

Farrow-to-finish animal: 0,00

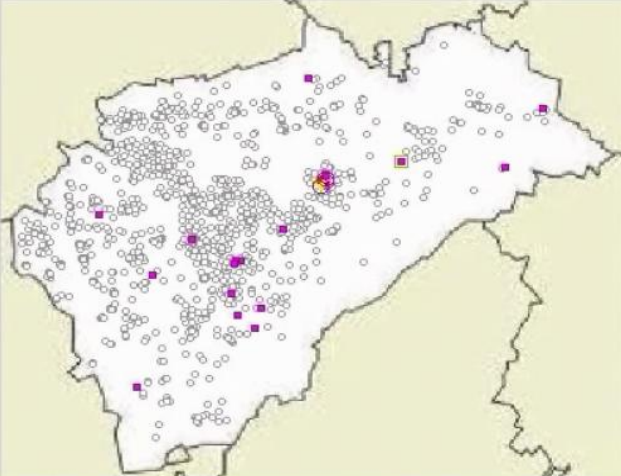
Calculated costs

Start Simulation

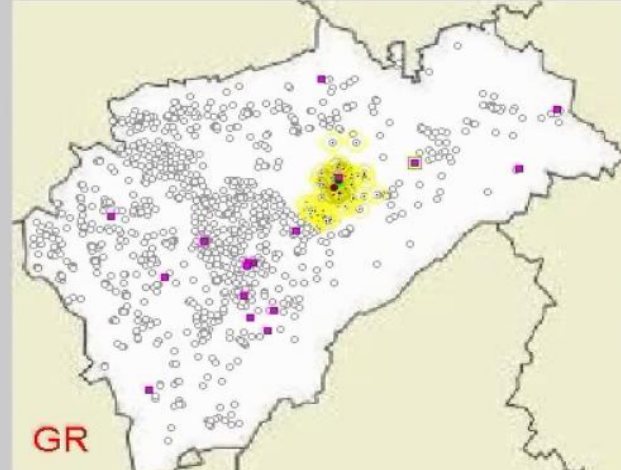
27%



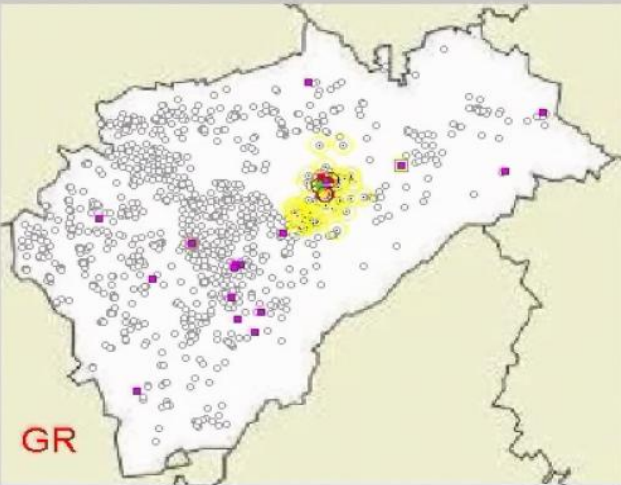
Simu:1 / Day: 37 / Number of infected farms: 6 / Loss: 0



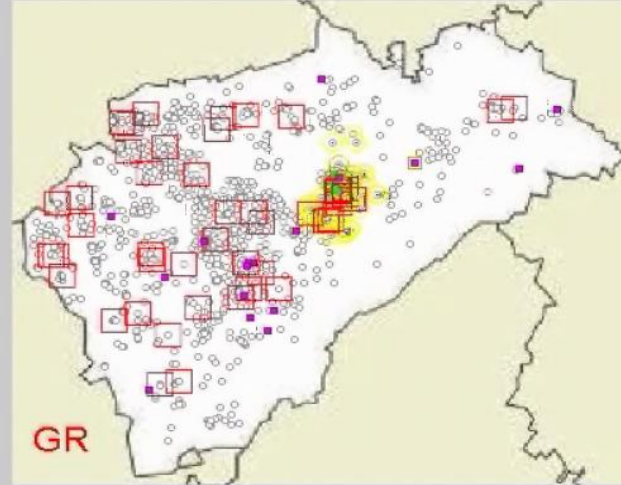
Simu:1 / Day: 43 / Number of infected farms: 4 / Loss: 17807000



Simu:1 / Day: 106 / Number of infected farms: 5 / Loss: 120080600



Simu:1 / Day: 109 / Number of infected farms: 2 / Loss: 128024500



Informe sanitario Be-FAST

- Generaremos y trabajaremos con Excel (o SPSS)

Simu	Granjas Inf	Inf VEH	Inf MOV	Inf LOCAL	Inf VISIT	Inf FOMITES	Detec_ZonC	Detec_ZonV	Detec_SignosC	Detec_Segu	Días	MOV bloq	Granjas Segu	Granjas ZonC	Granjas ZonV
1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	35	43	474	259	15
2	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	59	123	1658	924	77
3	11	0	3	5	2	0	5	0	3	3	87	703	9608	5526	1412
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	19	33	299	195	2
5	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	36	103	1199	704	21
6	4	0	0	2	0	1	2	0	2	0	64	391	5342	2983	926
7	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	33	22	276	179	20
8	6	0	0	5	0	0	5	0	1	0	81	453	5616	3141	921
9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	51	36	471	271	87
10	6	0	0	5	0	0	5	0	1	0	55	371	5380	2876	835
11	6	0	0	4	0	1	4	0	2	0	61	319	4646	2693	358
12	2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	26	53	722	426	5

1. Nº Simulación
2. Nº de granjas infectadas
3. Nº de granjas infectadas por visitas de vehículos
4. Nº de granjas infectadas por animales movidos entre granjas
5. Nº de granjas infectadas por difusión local
6. Nº de granjas infectadas por visitas de vehículos con fómites
7. Nº de granjas detectadas en zona de control
8. Nº de granjas detectadas en zona de vigilancia
9. Nº de granjas detectadas por signos clínicos
10. Nº de granjas detectadas por seguimiento
11. Duración de la epidemia
12. Nº de movimientos bloqueados por restricciones
13. Nº de granjas en zona de control
14. Nº de granjas en zona de vigilancia

Estudio *ad-hoc*

- Hemos generado 1000 posibles escenarios de una enfermedad concreta (**PPC**) en una región conocida (**Segovia**)
 - Con estos datos podemos hacernos una “idea” de cuales podrían ser las consecuencias sanitarias asociadas a uno de estos brotes
- Para ello realizaremos un rápido estudio que se basará en:
 - Clasificar los escenarios
 - Identificar áreas o situaciones de mayor riesgo

Clasificación de las epidemias

1. Podemos generar una **media** de todas las variables que recoge el informe → No es el mejor estadístico
2. Podemos trabajar con la **mediana** → Mucho mejor que la media, pero perdemos información clasificatoria

Simu	Granjas Inf	Inf VEH	Inf MOV	Inf LOCAL	Inf VISIT	Inf FOMITES	Detec_ZonC	Detec_ZonV	Detec_SignosC	Detec_Segu	Días	MOV bloq	Granjas Segu	Granjas ZonC	Granjas ZonV
997	4	0	0	2	1	0	2	0	2	0	49	233	2995	1639	245
998	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	33	24	425	267	81
999	7	0	1	4	0	1	3	0	2	2	110	299	3600	2099	364
1000	4	0	1	0	2	0	0	0	3	1	74	371	4696	2607	561
MEDIA	4.9	0.0	0.5	2.7	0.4	0.2	2.5	0.1	1.5	0.9	57.1	263.8	3544.1	1990.3	501.0
MEDIANA	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	46.5	103.0	1212.5	686.5	56.5
PERCENTIL20	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	27.0	26.0	311.0	179.0	10.0
PERCENTIL40	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	40.0	53.0	571.4	323.0	30.0
PERCENTIL60	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	55.0	184.0	2378.4	1328.2	131.0
PERCENTIL80	7.0	0.0	1.0	4.0	1.0	0.0	4.0	0.0	2.0	1.0	77.0	421.4	5714.2	3190.4	561.6

Percentiles

- *Percentil X* → el percentil X es el valor debajo del cual se encuentran el $X\%$ por ciento de los datos después de ordenarlos
 - Ejemplo: $\{3,4,2,3,5,8,9,6,5,4,3,2,3,1,1,2\}$
 - $\{1,1,2,2,2,3,3,3,3,4,4,5,5,6,8,9\}$ → 16 datos ordenados
 - Percentil 25 → 4 primeros datos → $P_{25} = 2$
 - Percentil 50 → 8 primeros datos → $P_{50} = 3$
 - Percentil 75 → 12 primeros datos → $P_{75} = 5$
- Los percentiles más importantes son la mediana ($Me = P_{50}$) y los cuartiles ($Q_1 = P_{25}$ y $Q_3 = P_{75}$)

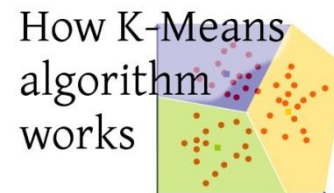
Clasificación de las epidemias

3. Podemos generar una los **percentiles** que abarquen el 20%, 40%, 60% y 80% para tener un total de 5 grupos distintos clasificados según su impacto

Simu	Granjas Inf	Inf VEH	Inf MOV	Inf LOCAL	Inf VISIT	Inf FOMITES	Detec_ZonC	Detec_ZonV	Detec_SignosC	Detec_Segu	Días	MOV bloq	Granjas Segu	Granjas ZonC	Granjas ZonV
997	4	0	0	2	1	0	2	0	2	0	49	233	2995	1639	245
998	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	33	24	425	267	81
999	7	0	1	4	0	1	3	0	2	2	110	299	3600	2099	364
1000	4	0	1	0	2	0	0	0	3	1	74	371	4696	2607	561
MEDIA	4.9	0.0	0.5	2.7	0.4	0.2	2.5	0.1	1.5	0.9	57.1	263.8	3544.1	1990.3	501.0
MEDIANA	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	46.5	103.0	1212.5	686.5	56.5
PERCENTIL20	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	27.0	26.0	311.0	179.0	10.0
PERCENTIL40	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	40.0	53.0	571.4	323.0	30.0
PERCENTIL60	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	55.0	184.0	2378.4	1328.2	131.0
PERCENTIL80	7.0	0.0	1.0	4.0	1.0	0.0	4.0	0.0	2.0	1.0	77.0	421.4	5714.2	3190.4	561.6

Clasificación de las epidemias 2

- Existe una forma “menos manual” y más técnica → **K-medias** y **SPSS** *
- **K-medias** es un algoritmo matemático de clasificación o agrupación de datos en función de sus variables
- **SPSS** es un software estadístico de IBM



(*) Aunque nosotros utilicemos estas técnica en concreto y este software, existen muchas más técnicas y software similares

Clasificación de las epidemias 2

- Hemos sacado 5 clústeres:

Final Cluster Centers

	Cluster				
	1	2	3	4	5
Granjas inf.	6,1	9,8	3,5	1,3	10,6
Duración	117,4	150,9	85,9	57,8	170,8
Movs bloq.	791	1278	352	45	1955
Granjas seg.	285	463	204	74	411
Granjas en ZC	45,0	67,6	29,4	16,2	80,6
Granjas en ZS	161,2	221,4	112,7	86,7	269,2

Number of Cases in each Cluster

Cluster	1	87,000
	2	14,000
	3	244,000
	4	650,000
	5	5,000
Valid		1000,000
Missing		,000

Ejemplo de análisis:

- El 65% de los posibles brotes son de tipo muy leve con 1-2 granjas infectadas y una duración inferior a 2 meses....

Artículo

- Algunos resultados:
 - La transmisión por infección local fue el mayor causante de difusión (62%)
 - Los ratios R_0 fueron 2,98, 3,43 y 1,72 para granjas de tipo parto, ciclo cerrado y engorde.



Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Microbiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/vetmic

Research article

A novel spatial and stochastic model to evaluate the within- and between-farm transmission of classical swine fever virus. I. General concepts and description of the model

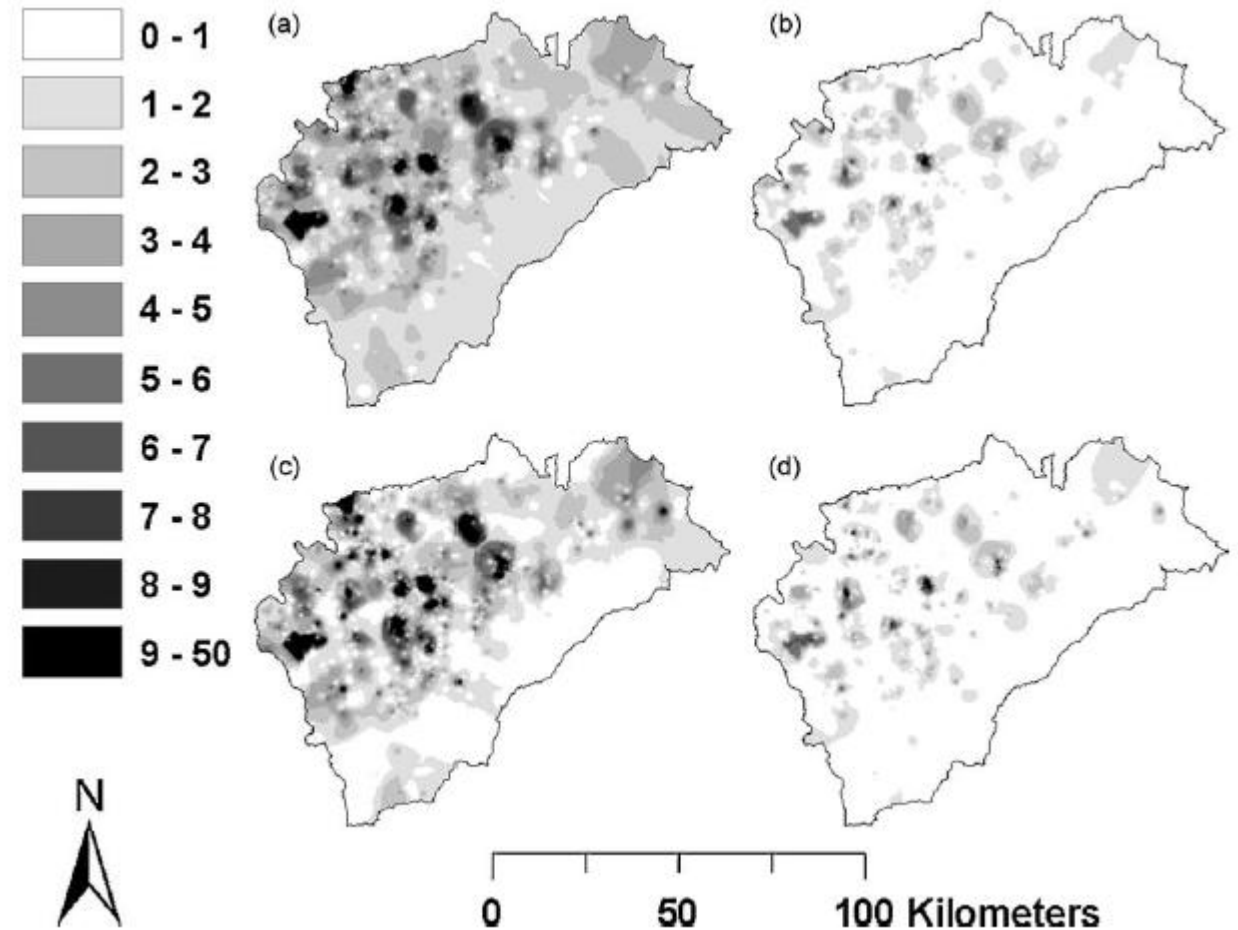
B. Martínez-López ^{a,*}, B. Ivorra ^b, A.M. Ramos ^b, J.M. Sánchez-Vizcaíno ^a

^aVISA VET, Animal Health Department, Veterinary School, Complutense University of Madrid, Av. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

^bApplied Mathematics Department, Mathematics School, Complutense University of Madrid, Plaza de Ciencias 3, 28040 Madrid, Spain

Artículo

- Algunos resultados:
 - Representación espacial de las zonas de mayor riesgo de difusión de PPC con y sin medidas de control.



Gracias



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID