

After-Covid19

O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario

MODELOS DE EVOLUCIÓN DE EPIDEMIAS

Fermín Navarrina & GMNI

21 de maio de 2020



Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Campus
Sustentabilidade



XUNTA
DE GALICIA

MODELOS DE EVOLUCIÓN DE EPIDEMIAS

F. Navarrina & GMNI



GMNI — GRUPO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad de A Coruña, España

e-mail: fermin.navarrina@udc.es

página web: <http://caminos.udc.es/gmni>



Índice

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



- ▶ ¿Cómo se propaga una epidemia?
- ▶ ¿Cómo se controla una epidemia?
- ▶ ¿Qué sabemos de la COVID–19?
- ▶ Datos a 19/05/2020
- ▶ Modelo: crecimiento exponencial
- ▶ Modelo SI: curva logística
- ▶ Modelo SIR
- ▶ Observaciones finales

- ▶ Breve presentación del proyecto VirionBreak





¿Cómo se propaga una epidemia? (I)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



AGENTES INFECCIOSOS

- ♠ Bacterias (faringitis)
- ♠ Virus (resfriado, SIDA)
- ♠ Hongos (pie de atleta)
- ♠ Parásitos (malaria)
- ♠ ...





¿Cómo se propaga una epidemia? (II)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



FORMA DE TRANSMISIÓN

- ♠ **Primaria** (directamente de la fuente)
- ♠ **Secundaria** (por contagio)
 - ♣ Contacto directo
 - ♣ Contacto indirecto (superficies, aire, agua)
 - ♣ Vectores (mosquitos, etc.)
 - ♣ Alimentos contaminados
 - ♣ ...



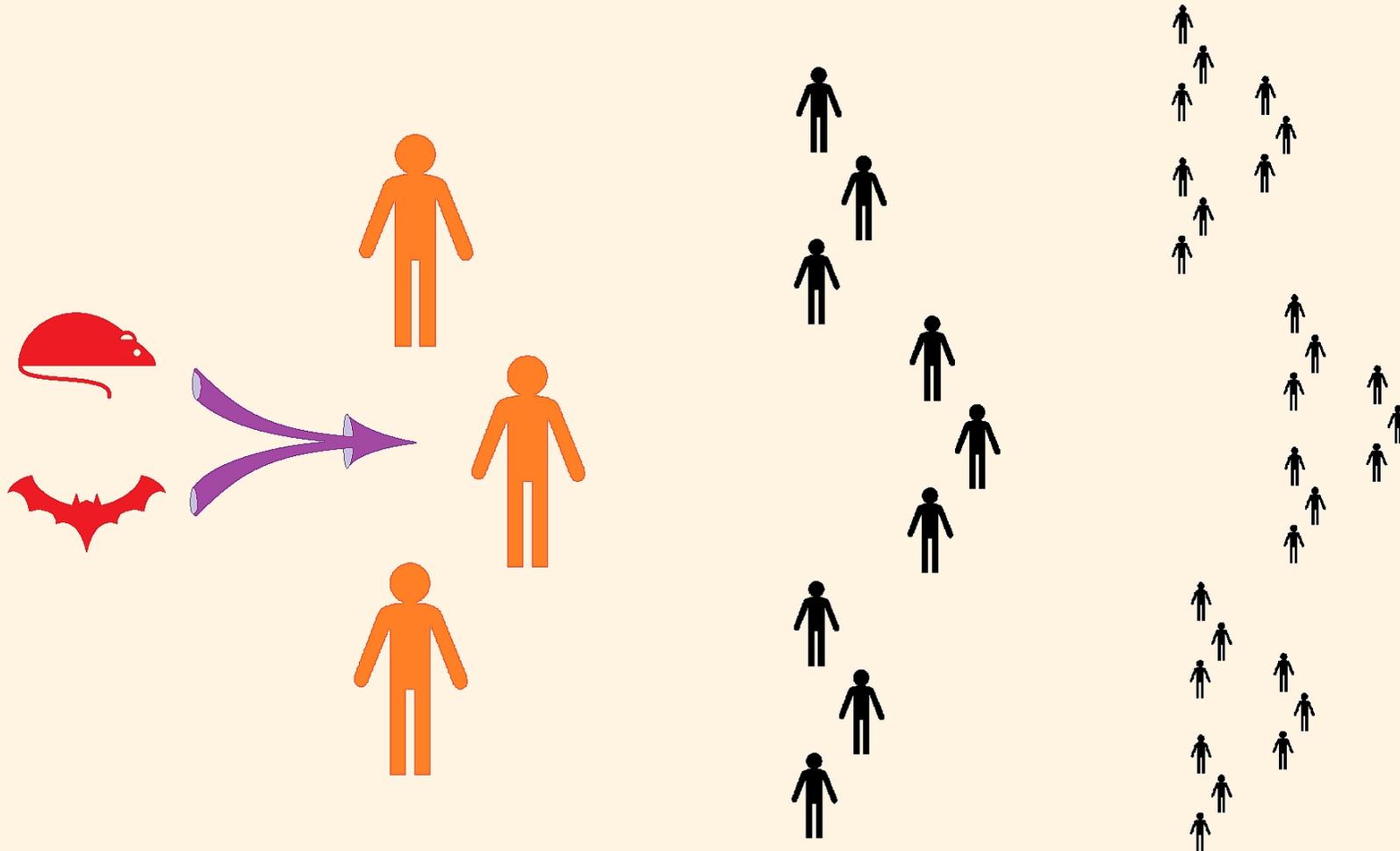


¿Cómo se propaga una epidemia? (IIa)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-EC



Transmisión primaria (posiblemente un murciélago en el caso de la COVID-19)





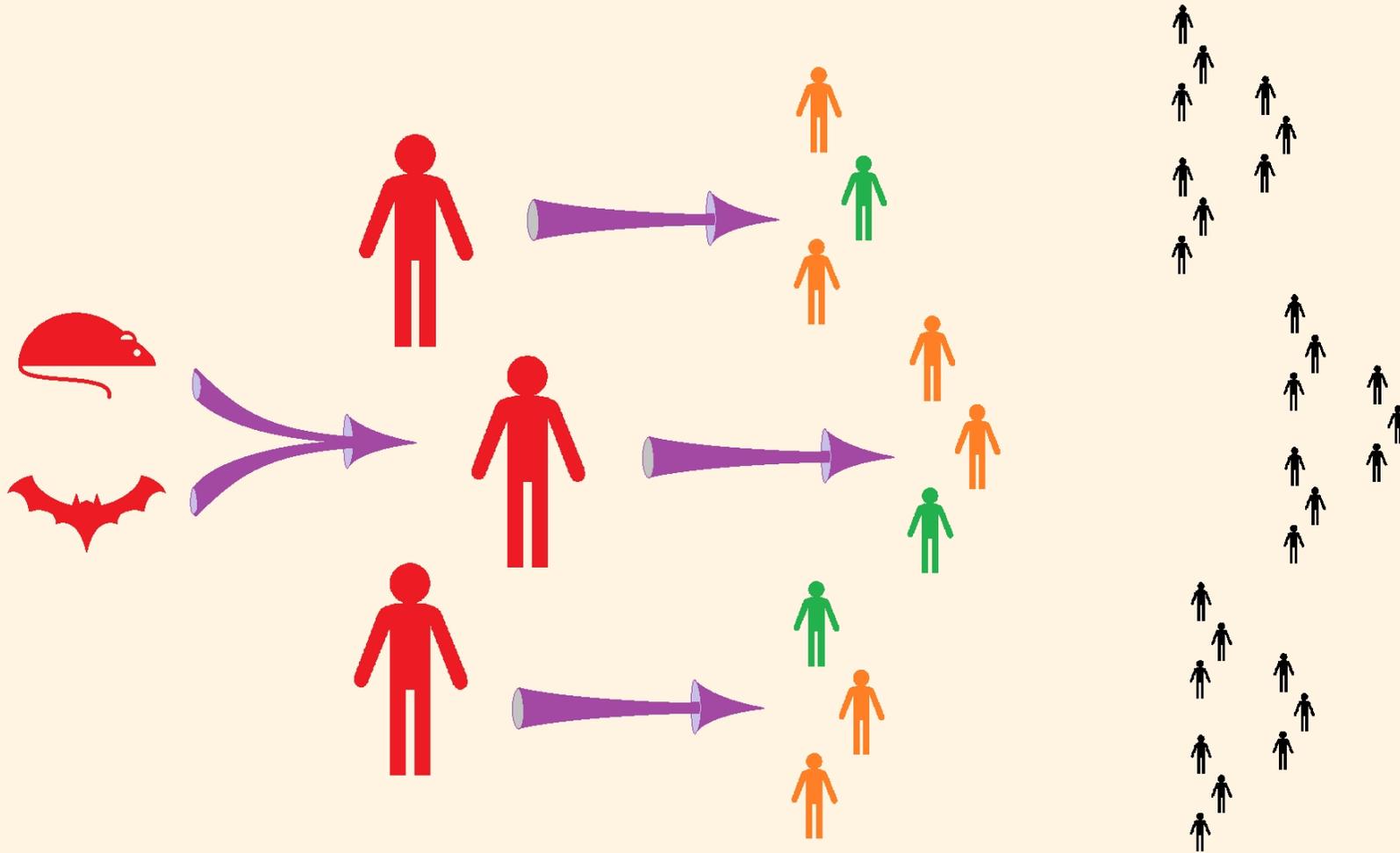
¿Cómo se propaga una epidemia? (IIIb)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Contagio (aparentemente a través de la respiración en el caso de la COVID-19)



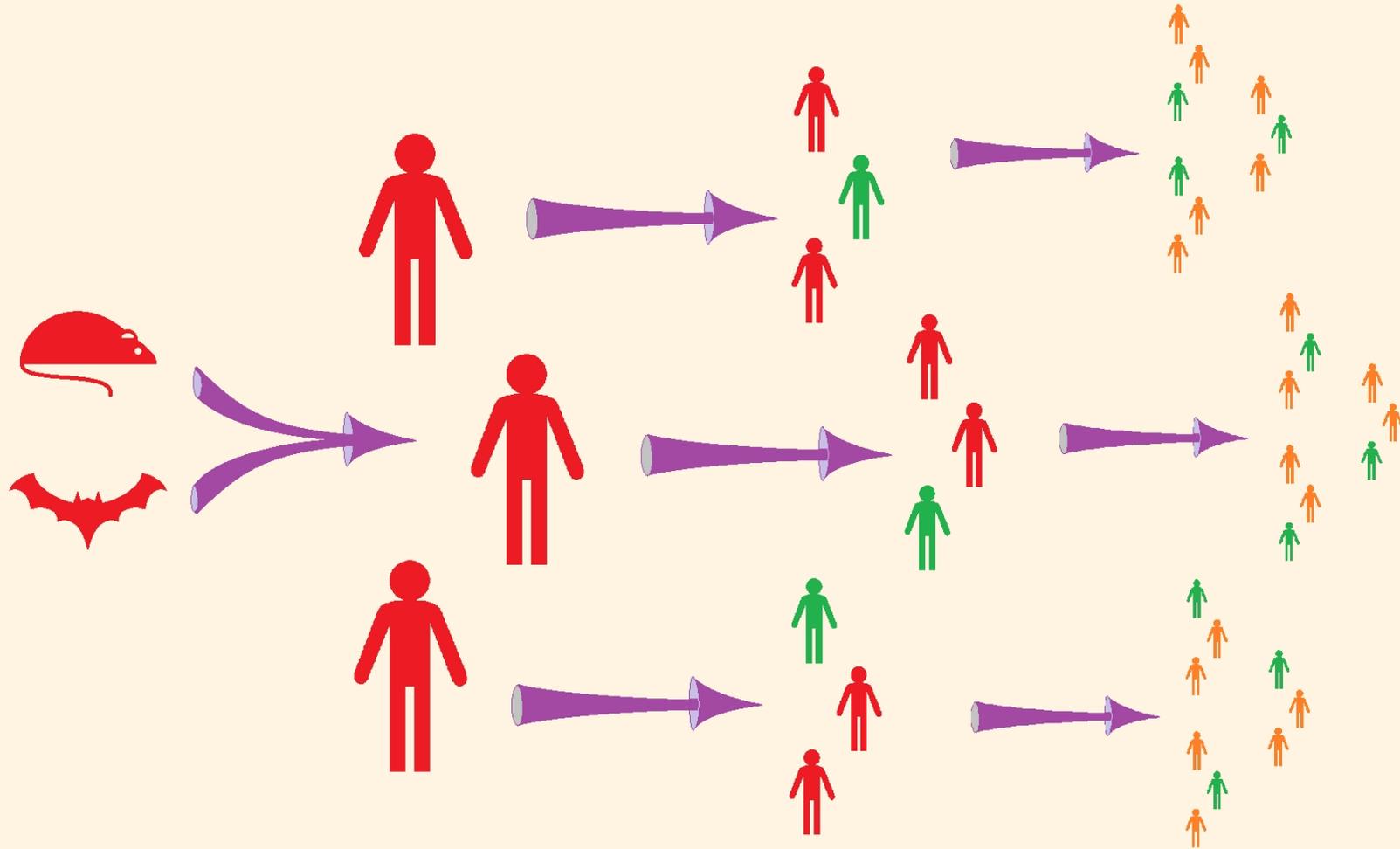


¿Cómo se propaga una epidemia? (IIc)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-EC



Epidemia/Pandemia



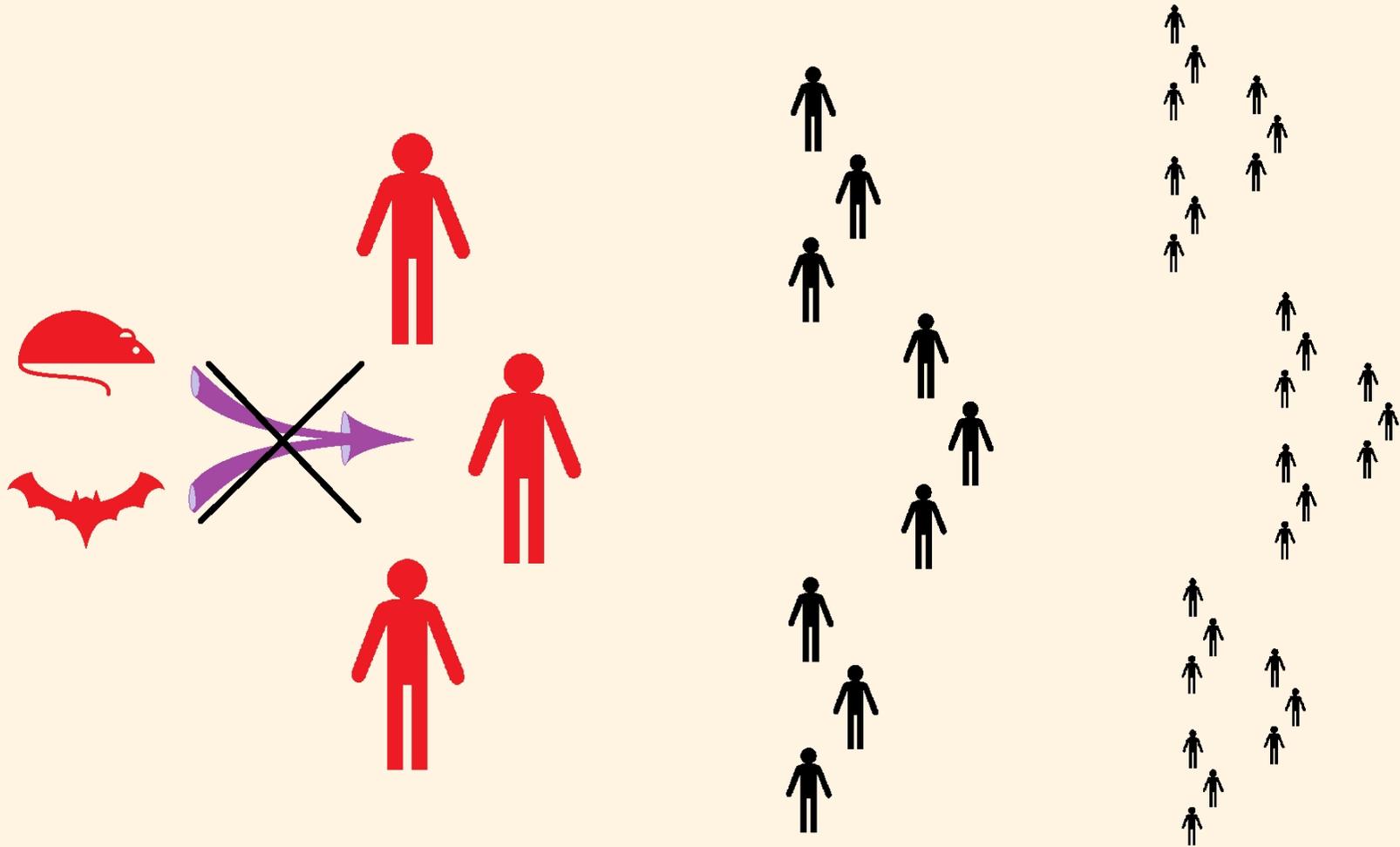


¿Cómo se controla una epidemia? (Ia)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-EC



Se corta la transmisión primaria

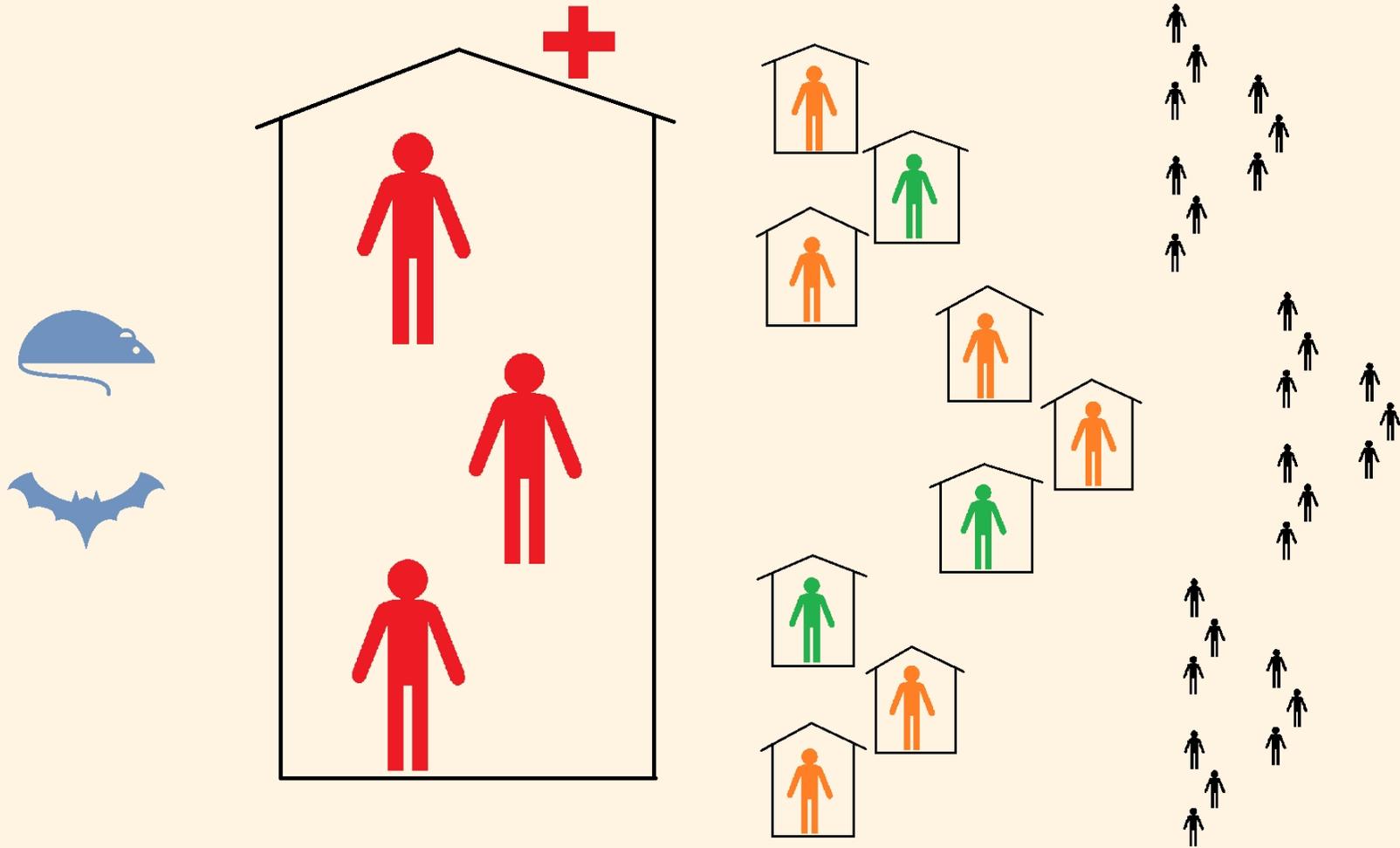




¿Cómo se controla una epidemia? (Ib)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Se hospitaliza a los enfermos y se pone en cuarentena a los posibles infecciosos



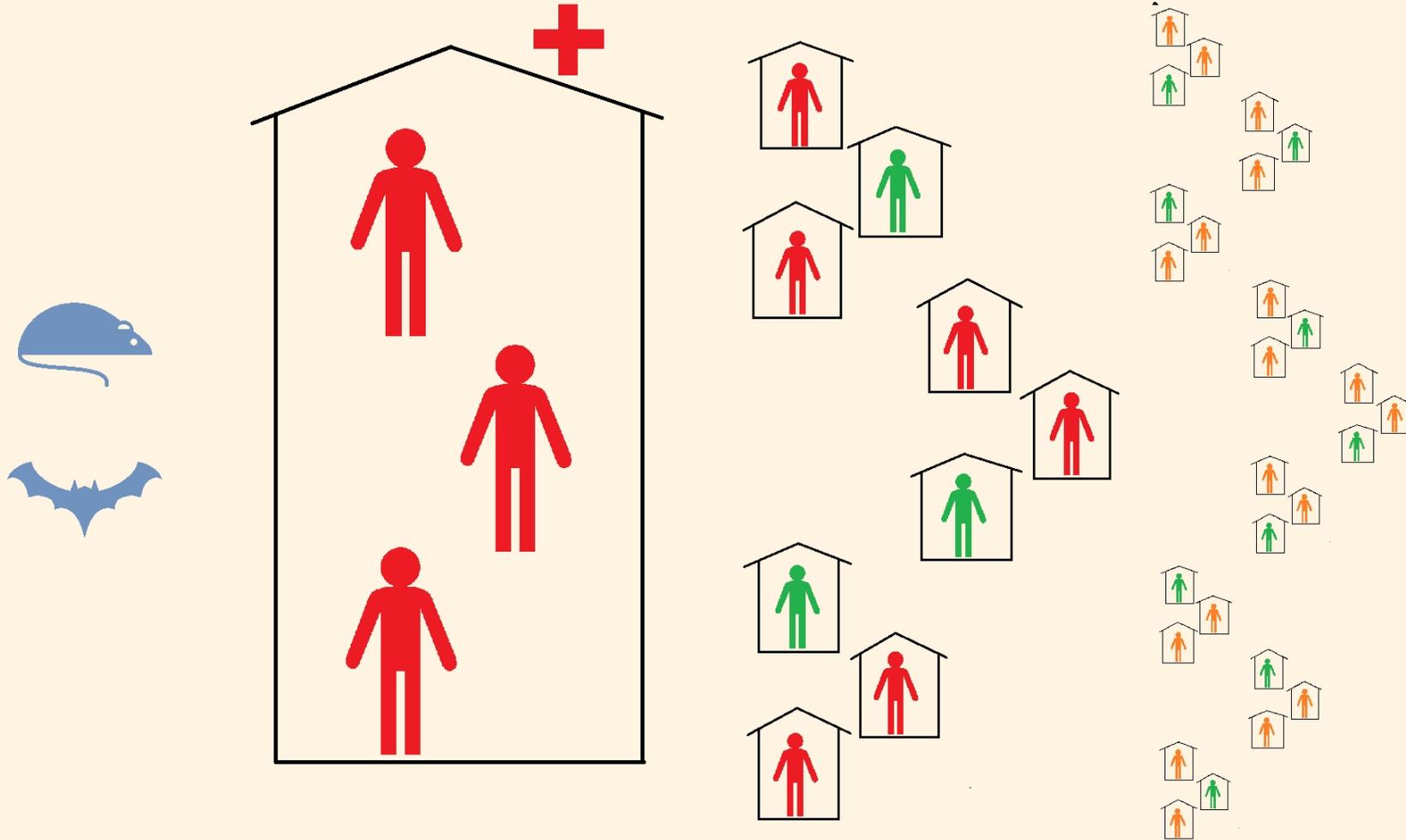


¿Cómo se controla una epidemia? (Ic)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-EC



Medidas excepcionales: **HIGIENE, DISTANCIAMIENTO SOCIAL, RESTRICCIÓN DE MOVILIDAD, CONFINAMIENTO**



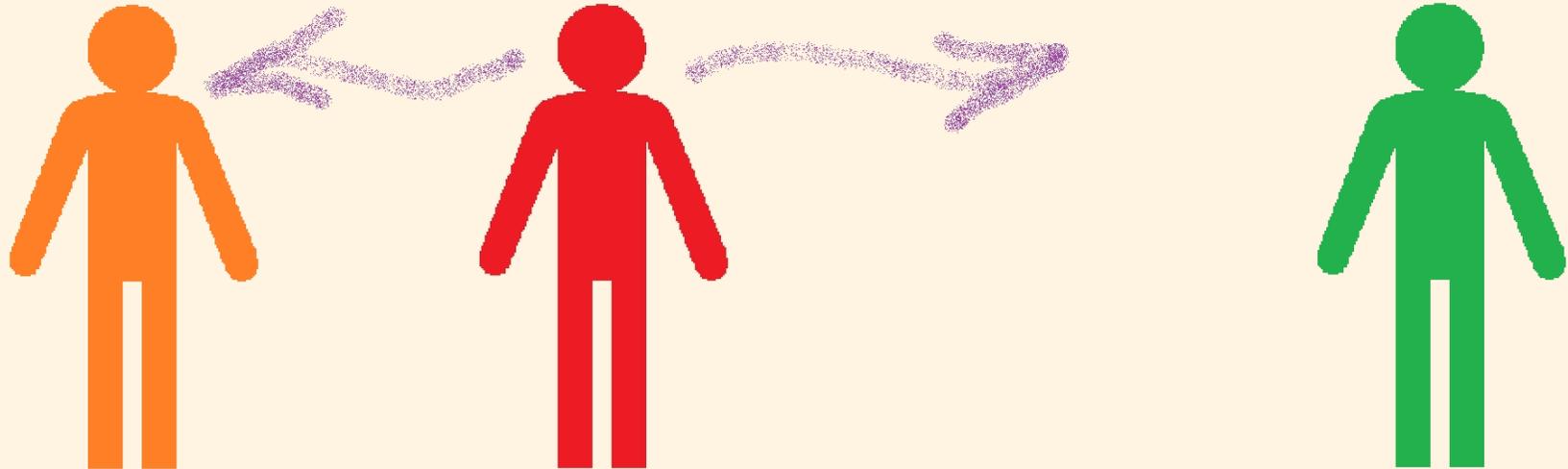


¿Qué sabemos de la COVID-19? (Ia)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-UEC



El contagio se produce a través de la respiración ⇒ **DISTANCIA, TIEMPO DE EXPOSICIÓN**
(¿También de forma indirecta en superficies?)

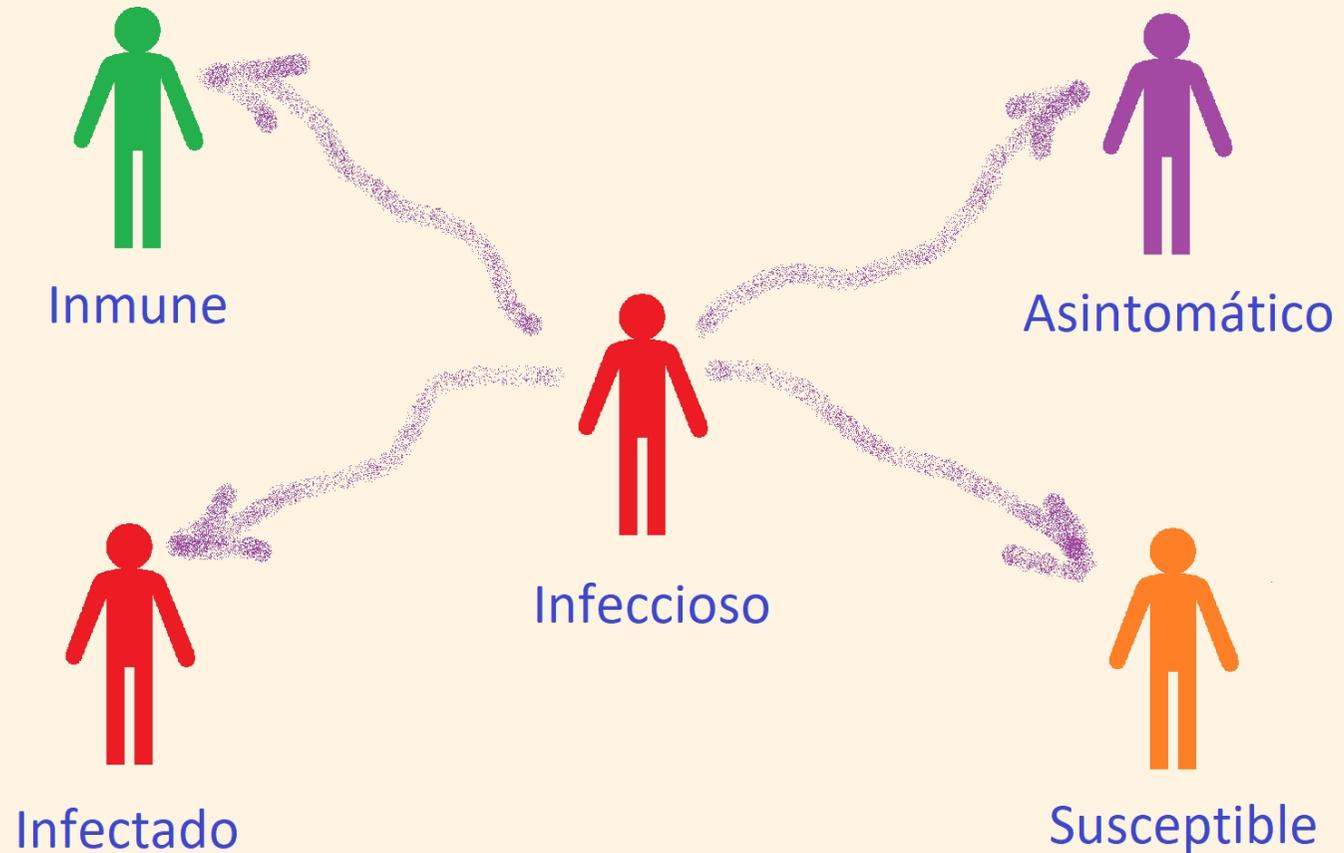




¿Qué sabemos de la COVID-19? (Ib)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Aparentemente hay **INMUNIDAD INNATA, INMUNIDAD ADQUIRIDA e INDIVIDUOS ASINTOMÁTICOS**





Datos a 19/05/2020 (I)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

MUNDO

CASOS CONFIRMADOS ≈ 5 M / 7.700 M $\rightarrow \approx 0,065$ %
MUERTOS $\approx 0,325$ M / 5 M $\rightarrow \approx 6,500$ %
RECUPERADOS ≈ 2 M

Distribución:

Asia: 60% de la población \rightarrow 17,00% de los casos confirmados
África: 16% de la población \rightarrow 2,00% de los casos confirmados
Europa : 10% de la población \rightarrow 36,00% de los casos confirmados
Norteamérica: 5% de la población \rightarrow 35,00% de los casos confirmados
Sudamérica: 8% de la población \rightarrow 9,80% de los casos confirmados
Oceanía: 1% de la población \rightarrow 0,20% de los casos confirmados





Datos a 19/05/2020 (II)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

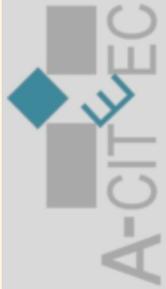
21/05/2020 12:00-14:00

EUROPA

CASOS CONFIRMADOS $\approx 1,800 \text{ M} / 800 \text{ M} \rightarrow \approx 0,225 \%$
MUERTOS $\approx 0,165 \text{ M} / 1,800 \text{ M} \rightarrow \approx 9,200 \%$
RECUPERADOS $\approx 0,800 \text{ M}$

ESPAÑA

CASOS CONFIRMADOS $\approx 0,232 \text{ M} / 47 \text{ M} \rightarrow \approx 0,490 \%$
MUERTOS $\approx 0,028 \text{ M} / 0,232 \text{ M} \rightarrow \approx 12,000 \%$
RECUPERADOS $\approx 0,150 \text{ M}$



Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil





Incertidumbres y dificultades:

- El número de personas infectadas puede ser entre 5 y 10 veces mayor que el de casos confirmados. (*)
- ¿A qué se debe? ¿Inmunidad innata? ¿Asintomáticos?
- El número de muertos puede ser mayor que el registrado (5.000-6.000, Informe MoMo).
- La letalidad real podría estar entre el 0,5% y el 1% (Francia). (**)
- ¡El período de incubación (sin síntomas) podría ser de hasta dos semanas, o más!
- Los datos de diferentes países (e incluso Comunidades Autónomas) se recopilan con diferentes protocolos (y de forma probablemente interesada).
- El Ministerio de Sanidad ha cambiado varias veces de criterio (lo que arruina la serie histórica).
- Los datos que ofrece el Ministerio desde hace unos 10 días son incoherentes.

(*) En tal caso, la letalidad real sería entre 5 y 10 veces menor que la oficial.

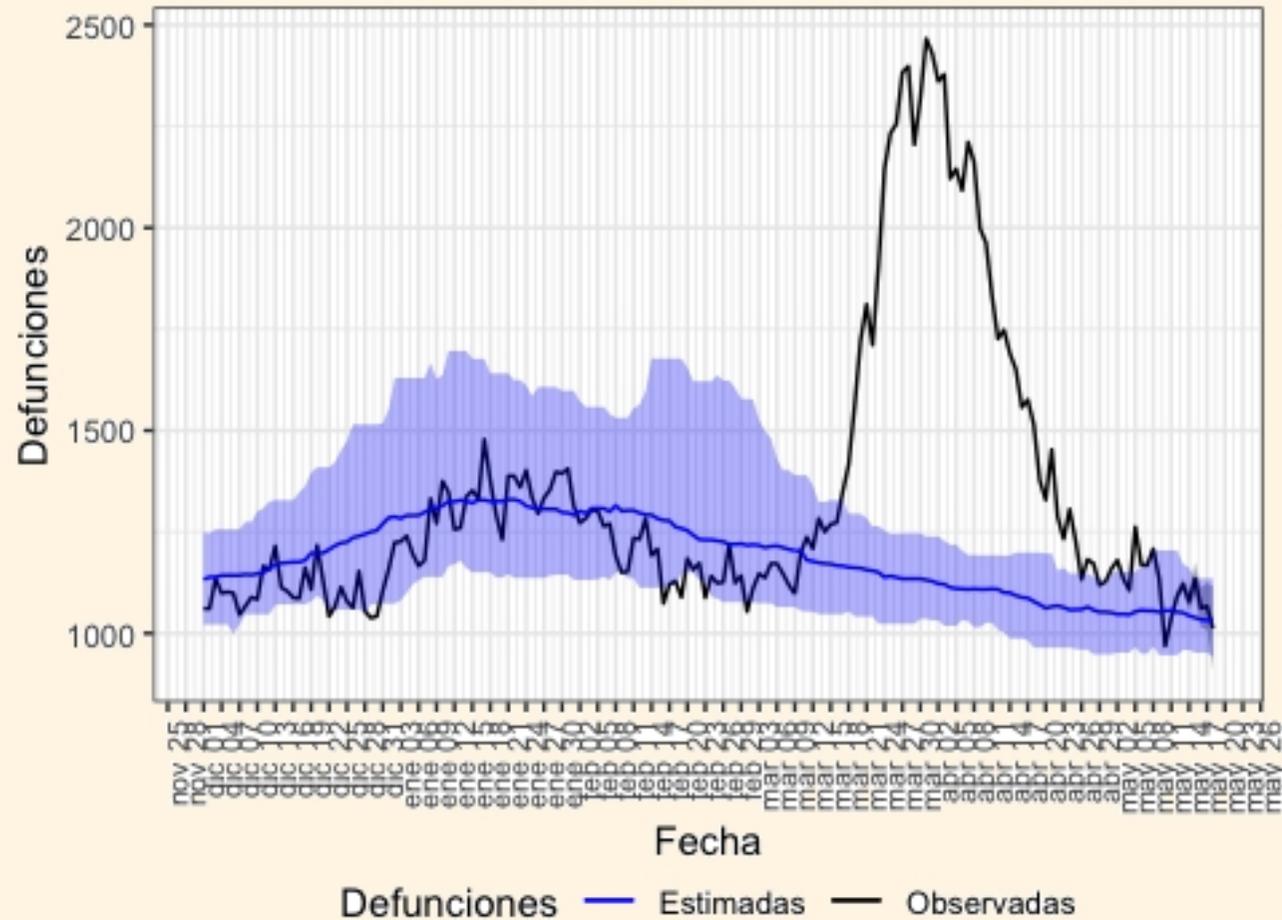
(**) Estas cifras son compatibles con el comentario anterior.



Datos a 19/05/2020 (IIIb)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Mortalidad por todas las causas observada y esperada. España, diciembre 2019 hasta 18 de mayo de 2020 (Defunciones observadas (negro) y defunciones estimadas (azul), con el intervalo de confianza al 99% (banda azul))

Fuente: **SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE LA MORTALIDAD DIARIA (MoMo)**, Centro Nacional de Epidemiología (ISCIII)





Modelo I: crecimiento exponencial (la)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Hipótesis:

- 1) Toda la población es **SUSCEPTIBLE** de ser infectada.
- 2) Los **INFECTADOS** son infecciosos permanentemente. (*)
- 3) La interacción social es completamente abierta
[no hay grupos cerrados].
- 4) El número de infectados es despreciable frente al tamaño de la población. (**)

(*) No se tienen en cuenta ni la posible hospitalización, ni el eventual fallecimiento del enfermo, ni la adquisición de inmunidad y la desaparición de la capacidad infecciosa con la curación.

(**) La probabilidad de que entren en contacto dos personas previamente infectadas es despreciable.





Modelo I: crecimiento exponencial (Ib)

Sean,

N : tamaño de la **POBLACIÓN**,

t : tiempo (normalmente medido en días),

$I(t)$: número de infectados/infecciosos en el instante de tiempo t ,

ν : personas en contacto con cada infeccioso por unidad de tiempo,

p : probabilidad de contagio en un contacto entre infeccioso y susceptible.

Luego, entre los instantes t y $t + \Delta t$,

$\nu \Delta t$ = personas en contacto con cada infeccioso,

$\nu \Delta t p$ = personas infectadas por cada infeccioso, (*)

$\nu \Delta t p I(t)$ = personas infectadas por todos los infecciosos.

(*) Esperanza matemática de una distribución binomial $B(n, p)$ con $n = \nu \Delta t$.



Modelo I: crecimiento exponencial (II)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

MODELO EN DIFERENCIAS

$$\Delta I = I(t + \Delta t) - I(t) = \nu \Delta t p I(t), \quad (*)$$

o, lo que es lo mismo

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \beta I, \quad \text{con } \beta = \nu p.$$

(*) Puede realizarse una simulación fácilmente con una hoja Excel, por ejemplo.





Modelo I: crecimiento exponencial (III)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



MODELO DIFERENCIAL

Llevando al límite la expresión anterior se obtiene la ecuación diferencial

$$\frac{dI}{dt} = \beta I, \quad \text{con } \beta = \nu p$$

cuya solución analítica es

$$I(t) = I_0 \exp(\beta (t - t_0)), \quad \text{con } \beta = \nu p, \quad (*)$$

donde I_0 es el número de infectados/infecciosos en el instante t_0 .

(*) Éste es el famoso crecimiento exponencial, del que habla todo el mundo para referirse a cualquier cosa.





Modelo I: crecimiento exponencial (IV)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Consecuencias:

1) El parámetro β [tasa de contagio] tiene unidades de T^{-1} .

2) Tiempo de duplicación:

$$I(t + \Delta t) = 2 I(t) \quad \Longleftrightarrow \quad \Delta t = \ln(2)/\beta \approx 0,69/\beta.$$

3) El crecimiento es de tipo geométrico (exponencial) y divergente. (*)

4) El modelo sólo es válido para $I(t) \ll N$. (**)

(*) $\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = \infty$, lo que no es realista.

(**) Es decir, en la fase inicial de la epidemia.





Modelo I: crecimiento exponencial (Va)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-UEC

Ajuste por regresión lineal:

$$I(t) = I_0 \exp(\beta (t - t_0))$$



$$y = a + b x, \quad \text{con } y = \ln(I(t)), \quad x = t - t_0, \quad a = \ln(I_0), \quad b = \beta.$$

Luego,

$$I_0 = \exp(a), \quad \beta = b$$

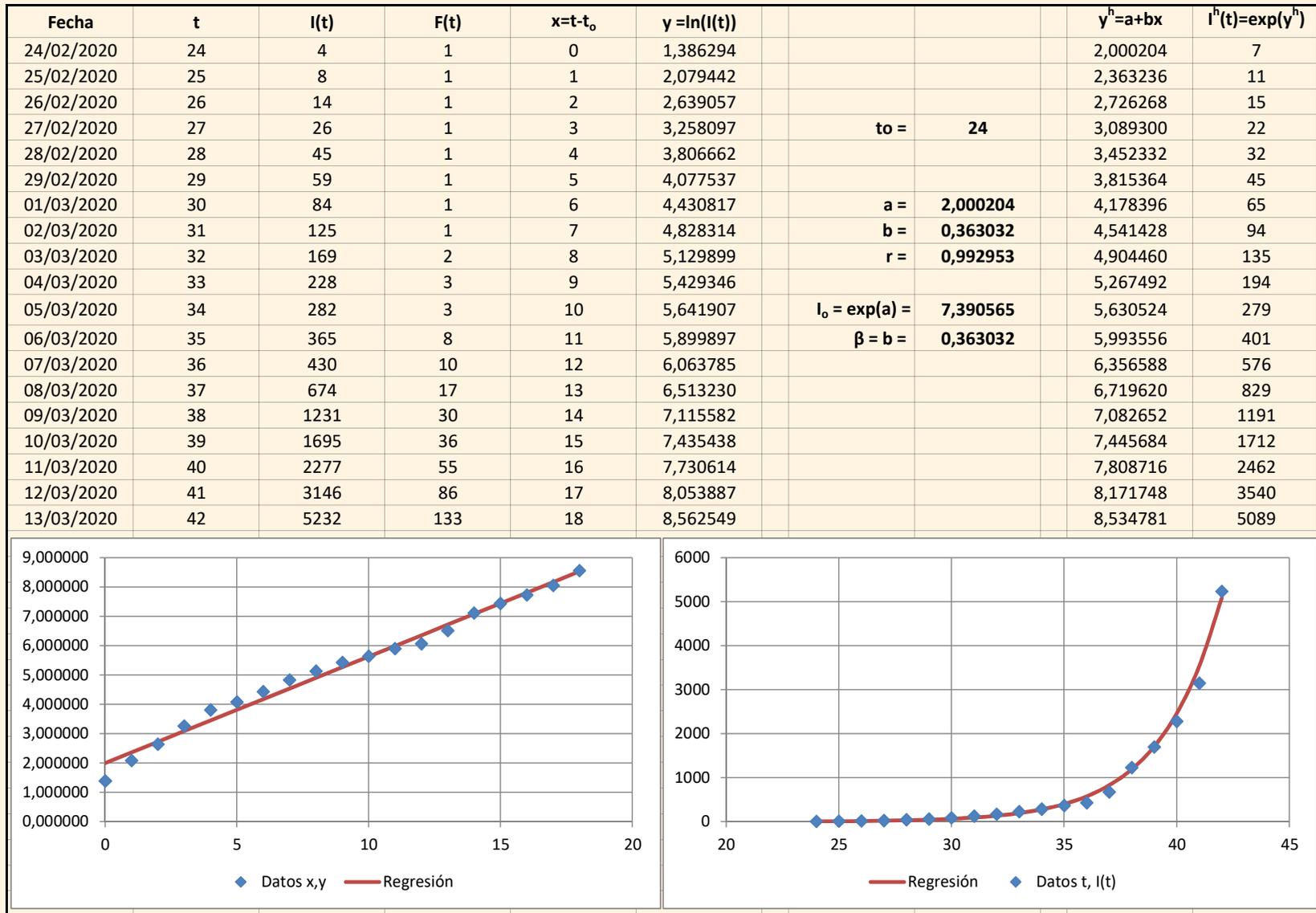




Modelo I: crecimiento exponencial (Vb)

After-Covid19:
 O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario
 21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
 Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría Civil

Modelo Exponencial: Ajuste sobre los datos de casos confirmados entre el 24 de febrero y el 13 de marzo





Modelo I: crecimiento exponencial (V_c)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Observaciones: (con datos de 13 de marzo de 2020)

- 1) Tasa de contagio: $\beta = 0,363032$.
- 2) Tiempo de duplicación: $\Delta t = 1,91$ días.
- 3) Infección de toda la población (47 M): $t = 67,15$ días. (*)
- 4) Infección de toda la humanidad (7.700 M): $t = 81,20$ días. (**)

(*) Entre el 7 y el 8 de abril de 2020.

(**) Entre el 21 y el 22 de abril de 2020.

ESTOS RESULTADOS SON INCORRECTOS PORQUE EL MODELO SÓLO ES VÁLIDO CUANDO $I(t) \ll N$.





Modelo I: crecimiento exponencial (VI)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría Civil



CONTROL DE LA EPIDEMIA EN FASE EXPONENCIAL:

$$I(t) = I_0 \exp(\beta (t - t_0)) \implies \text{REDUCIR } \beta \text{ (para ganar tiempo)}$$

$$\beta = \nu p$$

1) Reducir ν \longrightarrow

**HOSPITALIZACIÓN, CUARENTENA,
DISTANCIAMIENTO SOCIAL. (*)**

2) Reducir p \longrightarrow

**HIGIENE INTENSIFICADA,
USO GENERALIZADO DE EPIs. (**)**

(*) El “confinamiento” estricto de la mayor parte de la población es una medida extrema en este sentido.

(**) Según estudios recientes, el uso de mascarillas (de cualquier tipo) podría dividir el valor de p por 4.

La recomendación de usar guantes, sin embargo, está actualmente en entredicho.

¡LOS EPIs PARA USO COTIDIANO NO TIENEN LA MISMA FUNCIÓN QUE LAS QUE USA EL PERSONAL SANITARIO!





Modelo I: crecimiento exponencial (VII)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

INTEGRACIÓN NUMÉRICA

$$\frac{dI}{dt} = \varphi(t, I), \quad \varphi(t, I) = \beta I, \quad \text{con } \beta = \nu p$$

Método de Euler (*)

$$\left\{ \begin{array}{l} t = t_0 \quad \longrightarrow I = I_0 \\ \dots \\ t = t_{k+1} = t_k + \Delta t \quad \longrightarrow I \approx I_{k+1} = I_k + \varphi(t_k, I_k) \Delta t \end{array} \right. \quad (**)$$

- (*) Es un método de primer orden. Hay métodos de orden superior, mucho más precisos. En cualquier caso, se pueden realizar los cálculos con una hoja EXCEL relativamente sencilla.
- (**) En nuestro caso, $I_{k+1} = I_k + \beta I_k \Delta t \leftarrow$ **MODELO EN DIFERENCIAS.**





Modelo SI: curva logística (Ia)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Hipótesis:

- 1) Toda la población es **SUSCEPTIBLE** de ser infectada.
- 2) Los **INFECTADOS** son infecciosos permanentemente. (*)
- 3) La interacción social es completamente abierta [no hay grupos cerrados].
- 4) El número de infectados **NO** es despreciable frente al tamaño de la población. (**)

(*) No se tienen en cuenta ni la posible hospitalización, ni el eventual fallecimiento del enfermo, ni la adquisición de inmunidad y la desaparición de la capacidad infecciosa con la curación.

(**) La probabilidad de que entren en contacto dos personas previamente infectadas **NO** es despreciable.





Modelo SI: curva logística (Ib)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría Civil



Sean,

N : tamaño de la **POBLACIÓN**,

t : tiempo (normalmente medido en días),

$S(t)$: personas susceptibles de ser infectadas en el instante de tiempo t , (*)

$I(t)$: número de infectados/infecciosos en el instante de tiempo t ,

ν : personas en contacto con cada infeccioso por unidad de tiempo,

p : probabilidad de contagio en un contacto entre infeccioso y susceptible.

Luego, entre los instantes t y $t + \Delta t$,

$\nu \Delta t$ = personas en contacto con cada infeccioso,

$\nu \Delta t [S(t)/N]$ = personas susceptibles en contacto con cada infeccioso,

$\nu \Delta t [S(t)/N] p$ = personas infectadas por cada infeccioso, (**)

$\nu \Delta t [S(t)/N] p I(t)$ = personas infectadas por todos los infecciosos.

(*) $S(t) = N - I(t)$.

(**) Esperanza matemática de una distribución binomial $B(n, p)$ con $n = \nu \Delta t [S(t)/N]$.





Modelo SI: curva logística (II)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

MODELO EN DIFERENCIAS

$$\Delta I = I(t + \Delta t) - I(t) = \nu \Delta t \frac{S(t)}{N} p I(t), \quad \text{con } S(t) = N - I(t), \quad (*)$$

o, lo que es lo mismo

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \beta I \left(1 - \frac{I(t)}{N} \right), \quad \text{con } \beta = \nu p.$$

(*) Puede realizarse una simulación fácilmente con una hoja Excel, por ejemplo.





Modelo SI: curva logística (III)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



MODELO DIFERENCIAL

Llevando al límite la expresión anterior se obtiene la ecuación diferencial

$$\frac{dI}{dt} = \beta I \left(1 - \frac{I(t)}{N} \right), \quad \text{con } \beta = \nu p$$

cuya solución analítica es

$$I(t) = N \frac{1}{1 + \exp(-\beta(t - t_p))}, \quad \text{con } \beta = \nu p, \quad (*)$$

donde t_p es el momento en el que se produce el **pico de contagios**. (**)

(*) También, $I(t) = N/2 (1 + \tanh(\beta/2 (t - t_p)))$.

(**) $I(t_p) = N/2, I'(t_p) = N\beta/4, I''(t_p) = 0 \leftarrow$ **PUNTO DE INFLEXIÓN** \iff **PICO DE CONTAGIOS**.





Modelo SI: curva logística (IV)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Consecuencias:

- 1) El parámetro β [tasa de contagio] tiene unidades de T^{-1} .
[MISMO SIGNIFICADO QUE EN EL MODELO ANTERIOR]
- 2) La curva adopta la forma de una exponencial positiva al principio, de forma que

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} I(t) = 0.$$

- 3) La curva adopta la forma de una exponencial negativa al final, de forma que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = N. \quad (*)$$

- 4) La curva tiene un punto de inflexión, que corresponde al pico de contagios.

(*) Por tanto, el modelo predice que toda la población acabará infectada.
Sin embargo, el ajuste predice un número total de casos confirmados muy inferior.
El motivo es la compartimentación que producen las medidas de distanciamiento social.



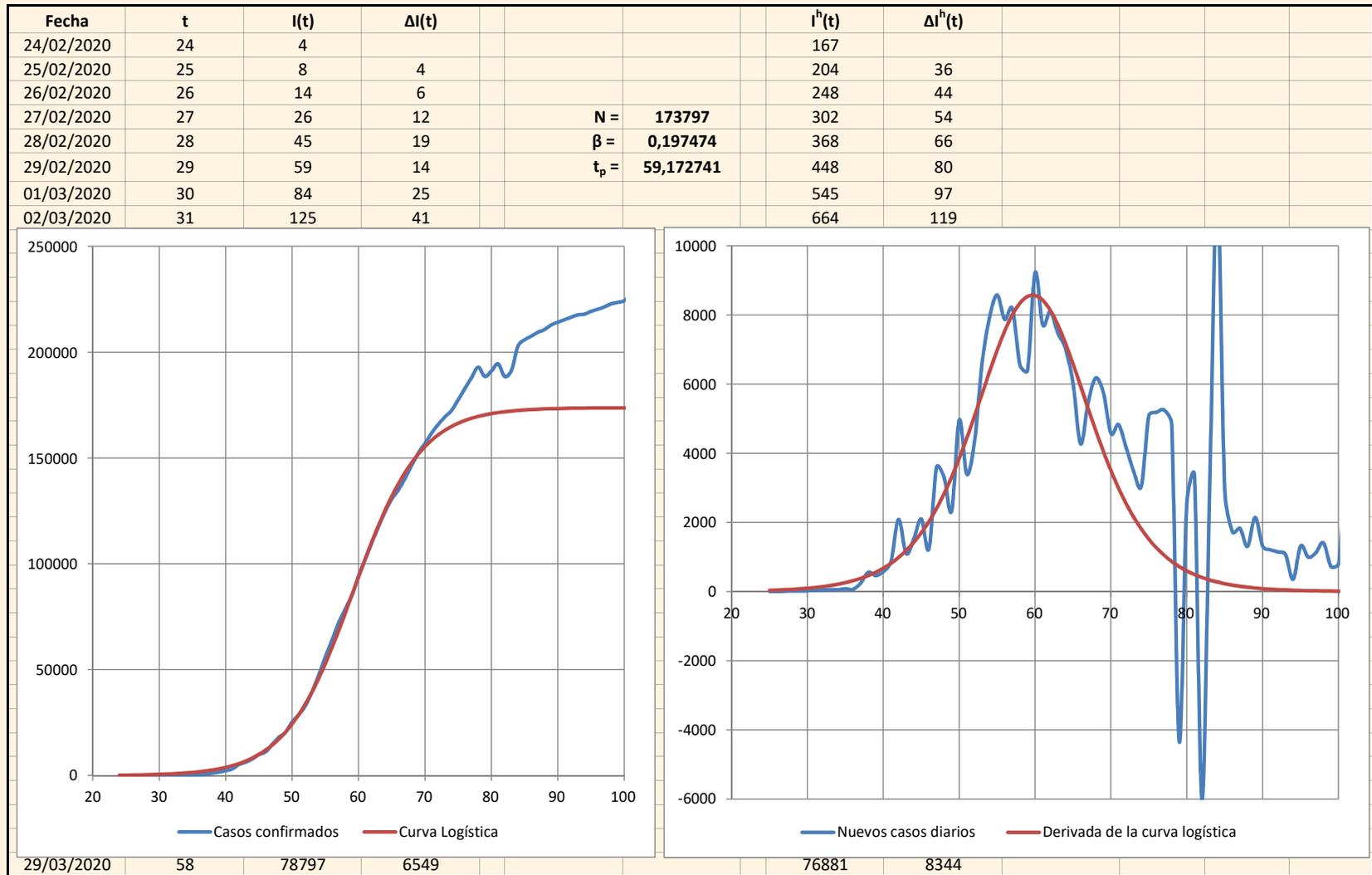


Modelo SI: curva logística (Va)

After-Covid19:
 O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario
 21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
 Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT



Modelo SI: Ajuste sobre los datos de casos confirmados entre el 14 de marzo (día 43) y el 10 de abril (día 70)





Modelo SI: curva logística (Vb)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Observaciones: (con datos de 10 de abril de 2020)

- 1) Tasa de contagio: $\beta = 0,197474$.
- 2) Pico de contagio: $t = 59,172741$ días. (*)
- 3) Máximo número de casos confirmados: $N = 173.797$. (**)
- 4) Extinción del brote: última quincena de mayo.

(*) Entre el 30 y el 31 de marzo de 2020.

(**) Si se mantiene la tendencia actual, esta predicción habrá infravalorado el valor real en un 30% aproximadamente.





Modelo SIR (Ia)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



Hipótesis:

- 1) Toda la población es **SUSCEPTIBLE** de ser infectada.
- 2) Los **INFECTADOS** dejan de ser infecciosos cuando son **RECUPERADOS**. (*)
- 3) La interacción social es completamente abierta [no hay grupos cerrados].
- 4) El número de infectados **NO** es despreciable frente al tamaño de la población. (**)

-
- (*) No se tienen en cuenta ni la posible hospitalización, ni el eventual fallecimiento del enfermo, pero **SÍ** la adquisición de inmunidad y la desaparición de la capacidad infecciosa con la curación. También puede interpretarse que en los recuperados se incluye tanto a los curados como a los fallecidos.
- (**) La probabilidad de que entren en contacto dos personas previamente infectadas **NO** es despreciable.





Modelo SIR (Ib)

After-Covid19:
 O papel da Enxeñaría
 Civil e da Edificación
 nun novo escenario
 21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
 Centro de Innovación Tecnolóxica
 en Edificación e Enxeñaría Civil
A-CIT-UEC

Sean,

N : tamaño de la **POBLACIÓN**,

t : tiempo (normalmente medido en días),

$S(t)$: personas susceptibles de ser infectadas en el instante de tiempo t ,

$I(t)$: número de infectados/infecciosos en el instante de tiempo t ,

$R(t)$: enfermos recuperados hasta el instante de tiempo t ,

ν : personas en contacto con cada infeccioso por unidad de tiempo,

p : probabilidad de contagio en un contacto entre infeccioso y susceptible,

γ : tasa de recuperación. (*)

Luego, entre los instantes t y $t + \Delta t$,

$\nu \Delta t$ = personas en contacto con cada infeccioso,

$\nu \Delta t [S(t)/N]$ = personas susceptibles en contacto con cada infeccioso,

$\nu \Delta t [S(t)/N] p$ = personas infectadas por cada infeccioso, (*)

$\nu \Delta t [S(t)/N] p I(t)$ = personas infectadas por todos los infecciosos.

$\gamma \Delta t I(t)$ = infectados que se recuperan.

(*) Proporción de enfermos que se curan por unidad de tiempo. Es el inverso del tiempo que dura la enfermedad.





Modelo SIR (II)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-EC

MODELO EN DIFERENCIAS

$$\begin{cases} \Delta S = S(t + \Delta t) - S(t) = -\nu \Delta t \frac{S(t)}{N} p I(t), \\ \Delta I = I(t + \Delta t) - I(t) = \nu \Delta t \frac{S(t)}{N} p I(t) - \gamma I(t) \Delta t, \\ \Delta R = R(t + \Delta t) - R(t) = \gamma I(t) \Delta t, \end{cases}$$

o, lo que es lo mismo

$$\begin{cases} \frac{\Delta S}{\Delta t} = -\beta I \frac{S(t)}{N}, \\ \frac{\Delta I}{\Delta t} = \beta I \frac{S(t)}{N} - \gamma I(t), \\ \frac{\Delta R}{\Delta t} = \gamma I(t), \end{cases}$$

(*) Puede realizarse una simulación fácilmente con una hoja Excel, por ejemplo.





Modelo SIR (III)

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



MODELO DIFERENCIAL (*)

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta I \frac{S}{N} \\ \frac{dI}{dt} = \beta I \frac{S}{N} - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

donde

$$N = S + I + R \quad (\text{constante}) \quad (**)$$

(*) **Kermack WO, McKendrick AG. A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proc Royal Soc Math Phys Eng Sci. 1927;115(772):700–21.**

(**) Pues $dN/dt = 0$.





Modelo SIR (IV)

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-UEC

Consecuencias:

NÚMERO REPRODUCTIVO BÁSICO

$$R_o = \frac{\beta}{\gamma} \cdot (*)$$

(*) El valor de este parámetro determina la evolución del proceso:

$$\begin{cases} R_o < 1 & \longrightarrow \text{BROTE CONTROLADO.} \\ R_o > 1 & \longrightarrow \text{EPIDEMIA.} \end{cases}$$





Observaciones finales

After-Covid19:
O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario
21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil

A-CIT-UEC

- 1) Las categorías S,I,R se denominan **COMPARTIMENTOS** (este tipo de modelos se denominan modelos compartimentales).
- 2) Pueden formularse modelos con más compartimentos para tener en cuenta efectos más complejos (incubación sin síntomas, pérdida de inmunidad, etc.).
- 3) Pueden añadirse nuevos compartimentos para tener en cuenta la dinámica vital (nacimientos y muertes por causas naturales).
- 4) Pueden definirse subcompartimentos para tener en cuenta otros factores (rangos de edad, diferencias regionales, movilidad entre territorios).
- 5) Algunos de estos modelos predicen rebrotes. (*)
- 6) En estos modelos **NO** necesariamente se infecta toda la población (el resultado final depende de un número reproductivo básico tipo R_0).
- 7) La información cuantitativa que aportan los modelos permite adoptar decisiones más eficaces de forma justificada. (**)

(*) ¿Son reales o se trata de un artificio matemático?

(**) ¿Dispone la Administración del Estado de un modelo oficial?





Breve presentación del proyecto VirionBreak

After-Covid19:

O papel da Enxeñaría
Civil e da Edificación
nun novo escenario

21/05/2020 12:00-14:00

Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



VirionBreak: Cálculo dinámico de la cápside del SARS-CoV-2 para su destrucción por resonancia

Financiado por el Instituto de Salud Carlos III

en el marco de la convocatoria de proyectos de investigación sobre el SARS-COV-2 y la enfermedad COVID19

- El objetivo del proyecto es realizar un análisis dinámico estructural de la cápside del virus SARS-CoV-2 con el fin de obtener sus frecuencias y modos propios de vibración para determinar las características de una emisión de radiofrecuencia o ultrasonidos que pueda provocar su colapso.
- En su caso, la construcción de un prototipo y su fabricación posterior podrían realizarse en un plazo breve y con costes bajos.
- El dispositivo podría ser usado con fines profilácticos de forma inmediata para la desinfección de material inerte y de residuos biológicos contaminados.
- En caso de que las frecuencias de vibración y la energía necesaria para provocar la destrucción de la cápside resulten inocuas, el mismo principio podría también aplicarse para el tratamiento terapéutico.
- El equipo de trabajo está compuesto por personal de la Universidad de A Coruña, de la Universidad Politécnica de Madrid, y de las Universidades de Viena, Purdue y Michigan.
- Presupuesto: 59.250,00 €
- Plazo de ejecución: 12 meses

[Animation of the SARS-CoV-2 coronavirus](#)



After-Covid19

O papel da Enxeñaría Civil e da Edificación nun novo escenario

ENXEÑARÍA CIVIL
E EDIFICACIÓN
SUSTENTABLES
E INNOVADORAS



Agrupación estratéxica
Centro de Innovación Tecnolóxica
en Edificación e Enxeñaría Civil



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Campus
Sustentabilidade



XUNTA
DE GALICIA