

***Τα μαθήματα που πήραμε από την
προσπάθεια μοντελοποίησης της
πανδημίας του covid19***



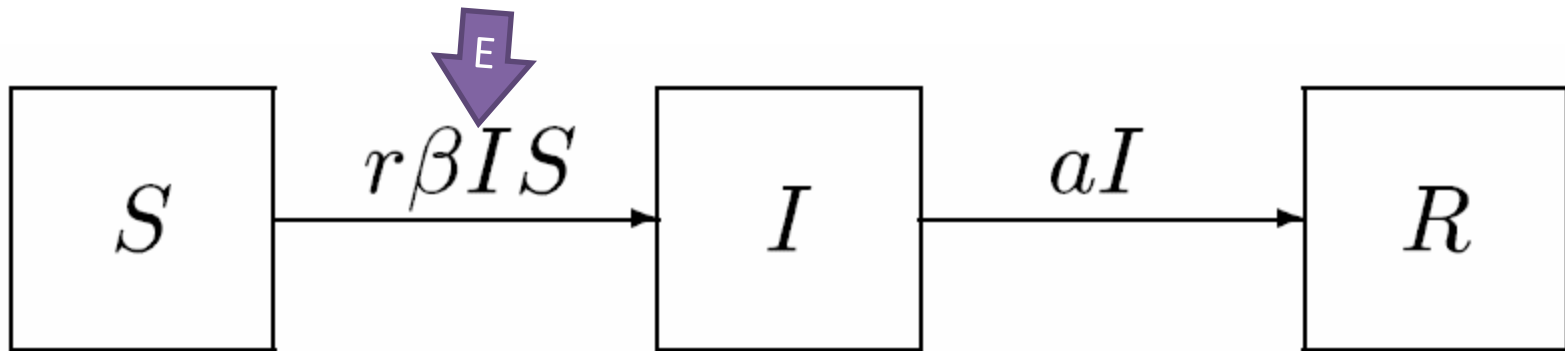
**Παναγιώτης Βίγκλας
ΚΠΕ Μακρινίτσας**

Εργαλείο για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων

- Ο πολιτικός ρωτά τον επιδημιολόγο: **«Να επιτρέψουμε Πάσχα στο χωριό;»**
- Ο επιδημιολόγος μεταφράζει το ερώτημα σε: **«Αν μετακινηθούν 600000 άνθρωποι με 20% αυτών να είναι ασυμπτωματικοί, 2% άρρωστοι, 15% εμβολιασμένοι, κλπ και με διαθέσιμες 40 κλίνες ΜΕΘ, πόσα νέα κρούσματα θα έχουμε σε 15 ημέρες;»**
- Η ομάδα του επιδημιολόγου τρέχει το μοντέλο και το μοντέλο λέει: **«Σύμφωνα με τα δεδομένα που μου δώσατε και τις παραδοχές που μου θέσατε θα αρρωστήσουν 9000 άτομα»**
- Ο επιδημιολόγος μεταφράζει την απάντηση του μοντέλου σε: **«9000 άτομα είναι πολλά για τις υποδομές υγείας που έχουμε, καλύτερα όχι Πάσχα στο χωριό»**
- Ο επιδημιολόγος απαντάει στον πολιτικό: **«Καλύτερα να μην αποφασίσετε Πάσχα στο χωριό, πιθανότατα θα έχουμε πρόβλημα»**
- Ο πολιτικός αφού σκεφτεί όλες τις επιπτώσεις αποφασίζει **«Όχι Πάσχα στο χωριό και άνοιγμα του τουρισμού στις 14 Μαΐου»**

Τι είναι επιδημιολογικό μοντέλο;

- Το γενικό επιδημιολογικό μοντέλο SIR (και η παραλλαγή του η SEIR)



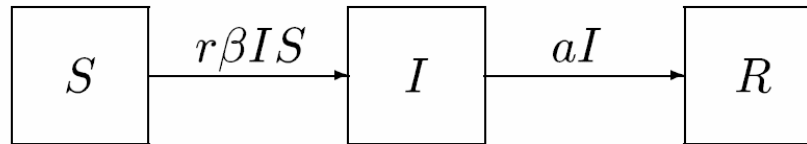
- Ευπαθείς (Susceptibles, S): Άτομα του πληθυσμού, τα οποία είναι υγιείς αλλά μπορούν να μολυνθούν
- Μολυσμένοι (Infectives, I): Άτομα του πληθυσμού, τα οποία νοσούν (ασθενείς)
- Διαγραμμένοι (Removed, R): Άτομα του πληθυσμού τα οποία είτε έχουν θεραπευτεί και έχουν αποκτήσει ανοσία, είτε έχουν πεθάνει.
- Εκτεθειμένοι (Exposed, E): Άτομα του πληθυσμού τα οποία έχουν (επιάζουν) τον ιό αλλά δεν μπορούν ακόμα να τον μεταδώσουν.

Τι είναι επιδημιολογικό μοντέλο;

Παραδοχές:

- Το μέγεθος του πληθυσμού είναι μεγάλο και σταθερό (Δεν λαμβάνουμε υπόψη γεννήσεις, θανάτους, μετανάστευση, αποδημία)*
- Ομογενή ανάμιξη του πληθυσμού*
- Ο ρυθμός μόλυνσης είναι ανάλογος του αριθμού των μολυσμένων*
- Ο ρυθμός ανάρρωσης είναι σταθερός, κλπ.*

Τι είναι επιδημιολογικό μοντέλο;



Μαθηματική έκφραση: Σύστημα τριών πεπλεγμένων κανονικών διαφορικών εξισώσεων

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\beta SI}{N}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

όπου (β) ο ρυθμός μόλυνσης και (γ) ο ρυθμός ανάρρωσης.

Τι είναι επιδημιολογικό μοντέλο;

Κώδικας σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού

```
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint
import matplotlib.pyplot as plt

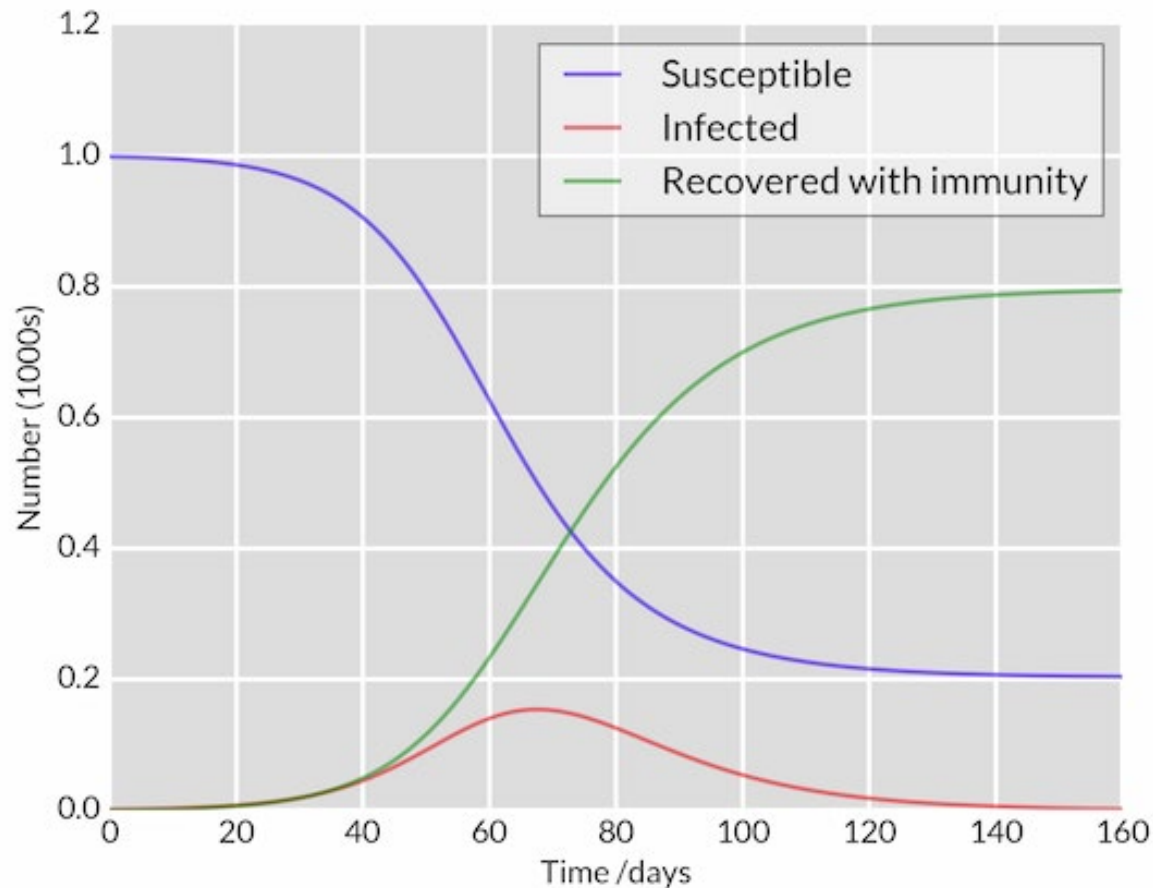
# Total population, N.
N = 1000
# Initial number of infected and recovered individuals, I0 and R0.
I0, R0 = 1, 0
# Everyone else, S0, is susceptible to infection initially.
S0 = N - I0 - R0
# Contact rate, beta, and mean recovery rate, gamma, (in 1/days).
beta, gamma = 0.2, 1./10
# A grid of time points (in days)
t = np.linspace(0, 160, 160)

# The SIR model differential equations.
def deriv(y, t, N, beta, gamma):
    S, I, R = y
    dSdt = -beta * S * I / N
    dIdt = beta * S * I / N - gamma * I
    dRdt = gamma * I
    return dSdt, dIdt, dRdt

# Initial conditions vector
y0 = S0, I0, R0
# Integrate the SIR equations over the time grid, t.
ret = odeint(deriv, y0, t, args=(N, beta, gamma))
S, I, R = ret.T

# Plot the data on three separate curves for S(t), I(t) and R(t)
fig = plt.figure(facecolor='w')
ax = fig.add_subplot(111, facecolor='#dddddd', axisbelow=True)
ax.plot(t, S/1000, 'b', alpha=0.5, lw=2, label='Susceptible')
ax.plot(t, I/1000, 'r', alpha=0.5, lw=2, label='Infected')
ax.plot(t, R/1000, 'g', alpha=0.5, lw=2, label='Recovered with immunity')
ax.set_xlabel('Time /days')
```

Λύση του συστήματος των ΔΕ



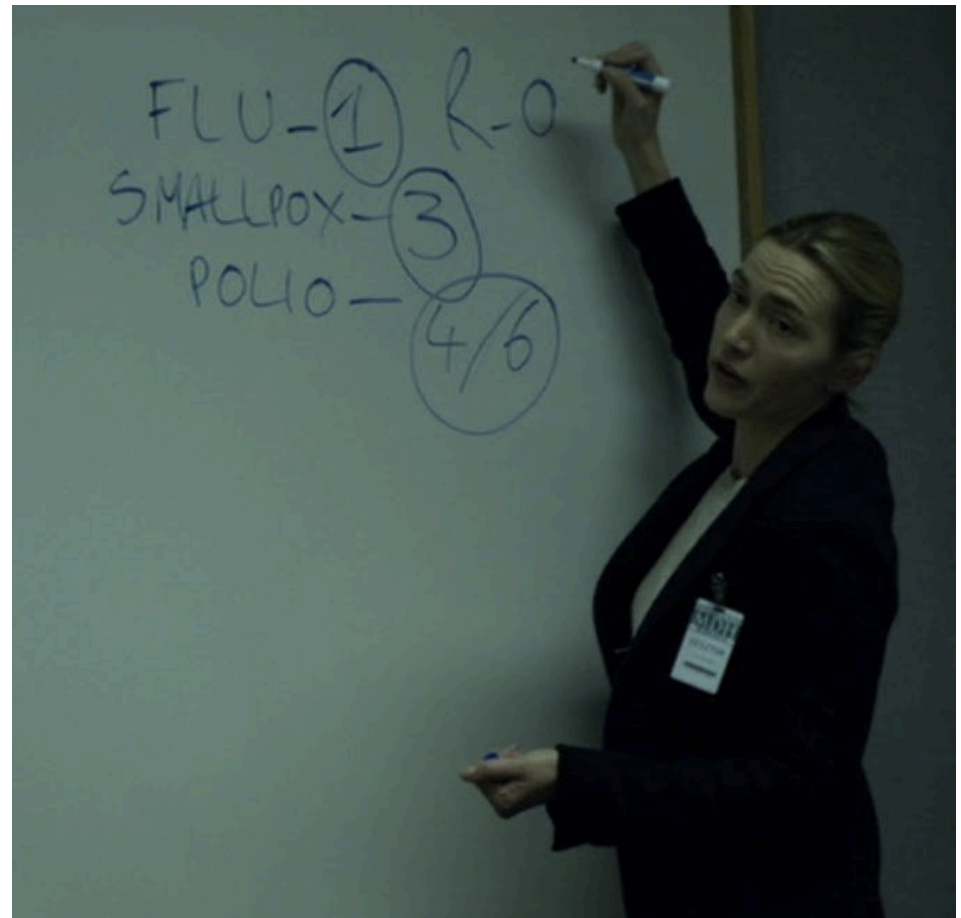
<https://scipython.com/book/chapter-8-scipy/additional-examples/the-sir-epidemic-model/>
<https://cs-dc.uk/sir.html>

Το διάσημο $R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$

Ρυθμός αναπαραγωγής της ασθένειας: Ο ρυθμός αναπαραγωγής της ασθένειας, βιολογικά εκφράζει τον αριθμό δευτερογενών μολύνσεων από ένα μολυσμένο μέλος σε ολόκληρο τον πληθυσμό

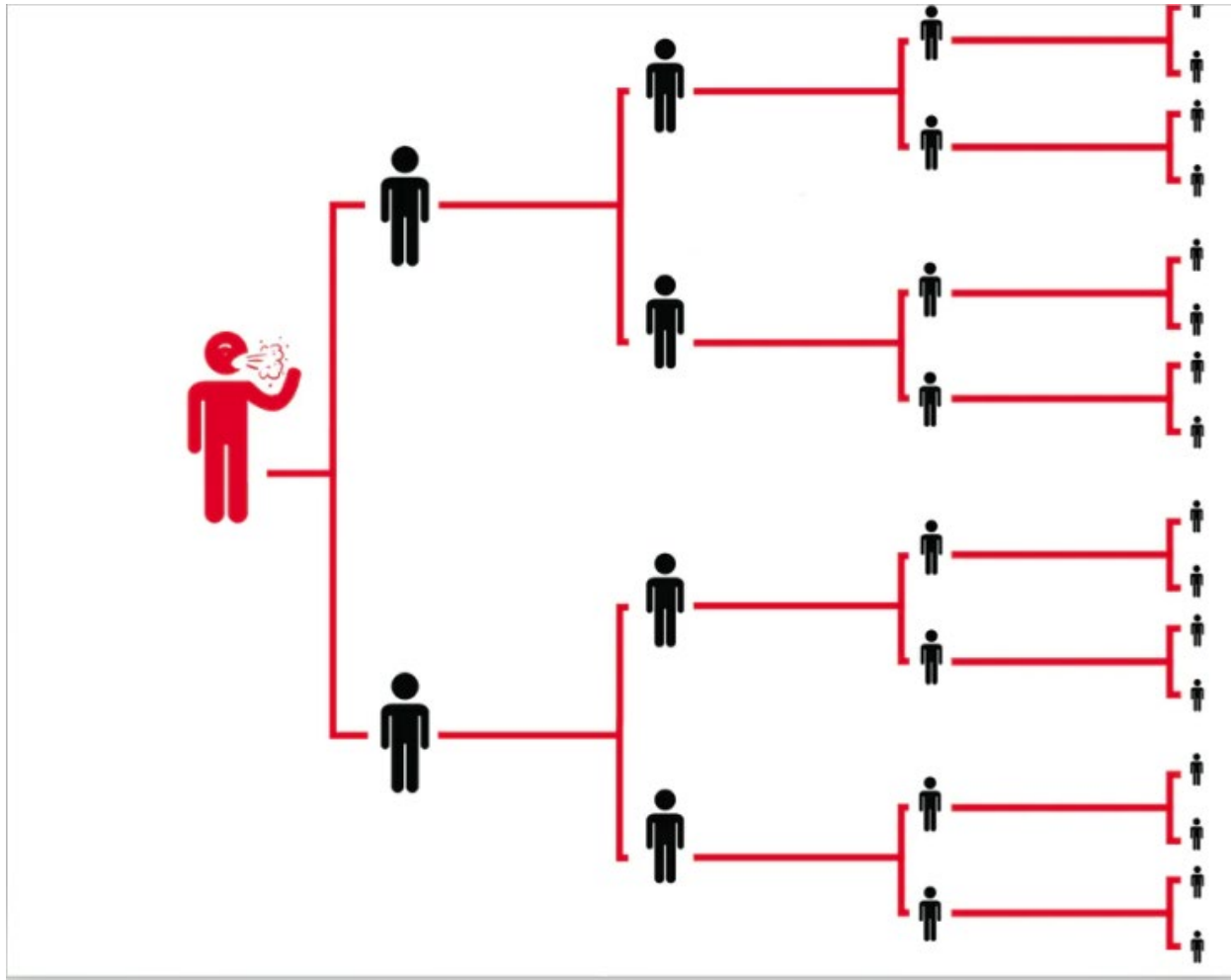
- Αν $R_0 > 1$ υπάρχουν περισσότερες από μια μόλυνση από 1 μολυσμένο μέλος, και υπάρχει επιδημία.
- Το β μειώνεται με πολιτικές όπως κοινωνική αποστασιοποίηση, πλύσιμο χεριών, καραντίνα, κλπ
- Το γ εξαρτάται από τη βιολογία της ασθένειας και μεγαλώνει με φάρμακα, θεραπείες, εμβολιασμούς

Πρώτη συνάντηση με το Ro



2011

Παράδειγμα $R_0 = 2$



Ενδεικτικές τιμές

Disease	Reproduction number R0
Ebola, 2014	1.51 to 2.53
H1N1 Influenza, 2009	1.46 to 1.48
Seasonal Influenza	0.9 to 2.1
Measles	12 to 18
MERS	around 1
Polio	5 to 7
SARS	<1 to 2.75
Smallpox	5 to 7
SARS-CoV-2 (causes COVID-19)	1.5 to 3.5

Αδυναμία εκτίμησης R_0

- Άγνωστα πολλά χαρακτηριστικά του ιού
- Άγνωστος ο αριθμός των ασυμπτωματικών που διαδίδουν τον ιό
- Άγνωστο τι γίνεται με αυτούς που έγιναν καλά, την ανοσία τους και αν μπορούν να ξανακολλήσουν
- Άγνωστο πως τα διάφορα μέτρα ελέγχου θα επηρεάσουν μελλοντικά τη μεταδοτικότητα του ιού

Διάφορα είδη μοντέλων

- Ερευνητικά-Εκπαιδευτικά και Επιχειρησιακά
- Στατιστικά
 - (γραμμική παλινδρόμηση, ανάλυση χρονοσειρών)
- Δυναμικά
 - (ντετερμινιστικά, στοχαστικά, δικτύου, agent-based, κλπ)
- Χρονικά διακριτά και συνεχή

Γιατί απέτυχαν όλα τα μοντέλα

- Κακής ποιότητας δεδομένα εισόδου
- Λανθασμένες παραδοχές στο μοντέλο
- Υψηλής ευαισθησίας εκτιμήσεις παραμέτρων
- Έλλειψη ενσωμάτωσης επιδημιολογικών χαρακτηριστικών
- Έλλειψη εμπειρίας και ενσωμάτωσή της από μέτρα στο παρελθόν
- Έλλειψη διαφάνειας
- Λάθη πάσης φύσεως
- Μονοδιάστατη αντιμετώπιση του προβλήματος
- Έλλειψη ειδίκευσης στο αντικείμενο και ασυνεννοησία των «ειδικών»
- Αδυναμία σωστής κατανόησης των δεδομένων εξόδου
- Αδυναμία σωστής «μετάφρασής» τους για τους πολιτικούς και το κοινό
- Επιλεκτική αναφορά αποτελεσμάτων

Διαφορά μετεωρολογικών και επιδημιολογικών μοντέλων

- Παρά κάποιες επιφανειακές ομοιότητες η πρόγνωση της πορείας μιας επιδημίας είναι εξαιρετικά πιο δύσκολη από την πρόγνωση του καιρού λόγω της χαοτικής και απρόβλεπτης ανθρώπινης συμπεριφοράς

Δηλαδή, όταν οι μετεωρολόγοι κάνουν πρόγνωση για τη διαδρομή ενός τυφώνα, οι αποφάσεις των ανθρώπων που πρόκειται να πληγούν από τον τυφώνα για το αν θα μείνουν ή θα εκκενώσουν την περιοχή, δεν επηρεάζει την πορεία του τυφώνα ούτε την έντασή του

Διδακτική αξιοποίηση

- Μαθηματικά, βιολογία, πληροφορική, φυσική
- Πολλά θέματα αρκετά προχωρημένα και «εκτός ύλης» ακόμα και για το Λύκειο
- Πρόταση: Μοντέλα σαν μαύρα κουτιά για πειραματισμούς και εκπαίδευση για την ίδια την πανδημία και τα χαρακτηριστικά της

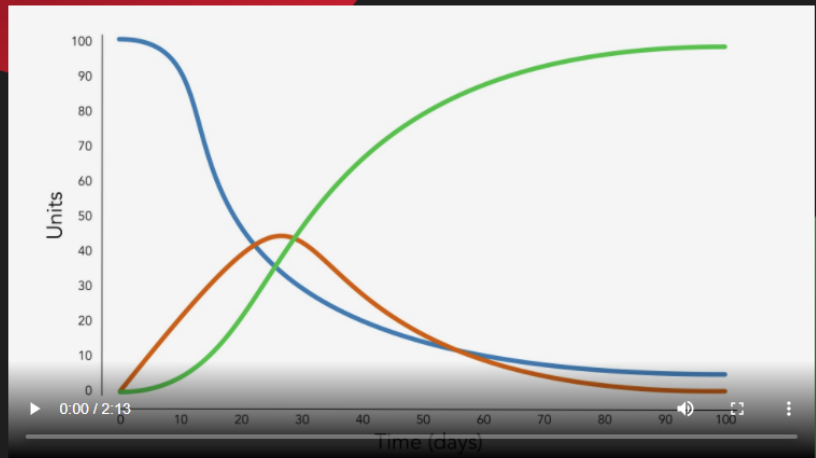
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

- *Epidemix* (<https://www.epidemix.app/>)



Epidemix is a free web application that allows users from different backgrounds to improve their understanding of mathematical disease modelling. Use Epidemix to explore key concepts of disease dynamics and control, and to explore how different types of models can be used to examine the spread of diseases in different populations.

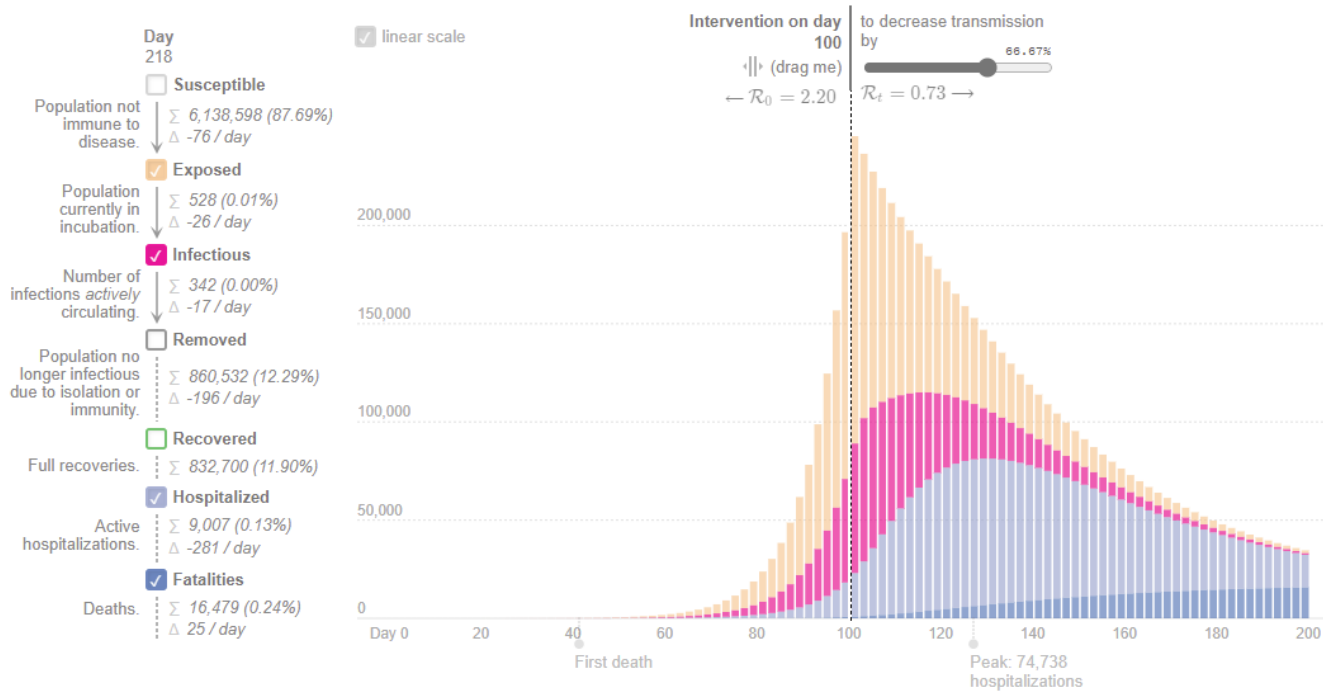
Access Epidemix



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

<https://gabgoh.github.io/COVID/index.html>

Epidemic Calculator



Transmission Dynamics

Population Inputs

Size of population.



Number of initial infections.



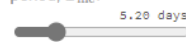
Basic Reproduction Number \mathcal{R}_0

Measure of contagiousness: the number of secondary infections each infected individual produces.

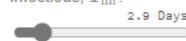


Transmission Times

Length of incubation period, T_{inc} .



Duration patient is infectious, T_{inf} .



Clinical Dynamics

Mortality Statistics

Case fatality rate.



Time from end of incubation to death.



Recovery Times

Length of hospital stay



Recovery time for mild cases



Care statistics

Hospitalization rate.



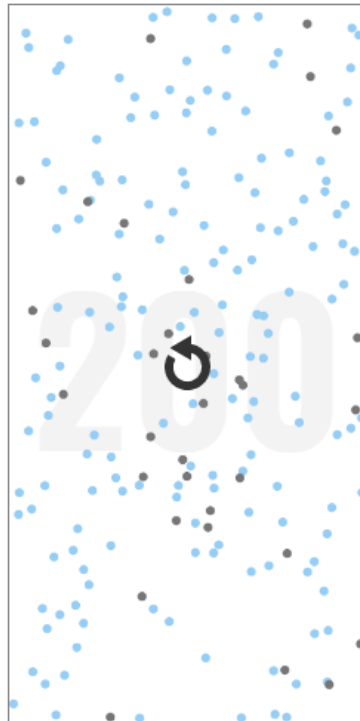
Time to hospitalization.



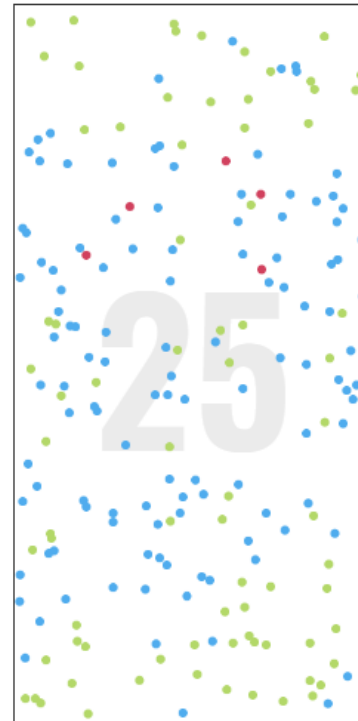
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

<https://corona.katapult-magazin.de/>

Without Social Distancing



With Social Distancing



25

Number of people moving freely on the right



Recovered: 167
Dead: 33



Infected: 5
Recovered: 118
Healthy: 77

Πηγές

- [The turning point and end of an expanding epidemic cannot be precisely forecast | PNAS](#)
- [Viz - COVID-19 Forecast Hub | COVID-19](#)
- [Epidemic Calculator \(gabgoh.github.io\)](#)
- W. O. Kermack and A. G. McKendrick, 'A contribution to the mathematical theory of epidemics', Proc. R. Soc. A, 115, 772 (1927)
- R. M. Anderson and R. M. May, Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control, OUP (1992).
- Christian Hill, 'The SIR epidemic model', <https://scipython.com/book/chapter-8-scipy/additional-examples/the-sir-epidemic-model>
- assets.publishing.service.gov.uk, 'R explainer', viewed 25-JUNE-2020, link to pamphlet
- <https://theconversation.com/coronavirus-how-new-simulations-can-predict-the-spread-of-future-pandemics-134217>
- <https://theconversation.com/r0-how-scientists-quantify-the-intensity-of-an-outbreak-like-coronavirus-and-predict-the-pandemics-spread-130777>
- R.M. Anderson and R.M. May. Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control. Oxford University Press, Oxford, UK, 1991
- N.T.J. Bailey. The Mathematical Theory of Infectious Diseases. Hafner, New York, 2nd Edition, 1975
- R.B. Banks. Growth and Diffusion Phenomena. Springer-Verlag, New York, 1994
- D.J. Daley and J. Gani. Epidemic Modelling: An Introduction. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999
- S.A. Levin, T.G. Hallam and L.J. Gross, Eds. Applied Mathematical Ecology. Springer-Verlag, New York, 1989
- J.D. Murray, Mathematical Biology. Springer-Verlag, New York, 2nd Edition, 1993

Πηγές

- <https://academic.oup.com/pcm/article/3/2/85/5841934>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7447267/> 
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7447267/table/tbl3/>
- <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0272989X21990391>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1198743X14630019>
- <https://academic.oup.com/pcm/article/3/2/85/5841934>
- <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14461242.2020.1764376>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468042720300750>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5181546/>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s41745-020-00200-6>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755436518300306>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755436517300920>
- <https://www.elsevier.com/life-sciences/journals/modelling-epidemics-the-maths-behind-disease-outbreaks>

RESEARCH ARTICLE

The turning point and end of an expanding epidemic cannot be precisely forecast

Mario Castro, Saúl Ares, José A. Cuesta, and Susanna Marrubia

[+ See all authors and affiliations](#)PNAS October 20, 2020 117 (42) 26190-26196; first published October 1, 2020; <https://doi.org/10.1073/pnas.2007868117>

Edited by Eugene V. Koonin, National Institutes of Health, Bethesda, MD, and approved September 11, 2020 (received for review April 23, 2020)

Article

Figures & SI

Info & Metrics

PDF

Significance

Susceptible–infected–removed (SIR) models and their extensions are widely used to describe the dynamics of infection spreading. Certain generic features of epidemics are well-illustrated by these models, which can be remarkably good at reproducing empirical data through suitably chosen parameters. However, this does not assure a good job anticipating the forthcoming stages of the process. To illustrate this point, we accurately describe the propagation of COVID-19 in Spain using one such model and show that predictions for its subsequent evolution are disparate, even contradictory. The future of ongoing epidemics is so sensitive to parameter values that predictions are only meaningful within a narrow time window and in probabilistic terms, much as what we are used to in weather forecasts.



Article Alerts

Email Article

Citation Tools

Request Permissions

Share

Tweet

Like 34

Mendeley

ARTICLE CLASSIFICATIONS

Biological Sciences » Applied Biological Sciences

Physical Sciences » Applied Mathematics

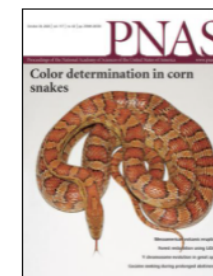
See related content:Predicting an epidemic trajectory is difficult -
Nov 03, 2020

Table of Contents

Submit

Ευχαριστώ