

Informe Espanya Endeny Covid-19 (Coronavirus): 12 d'Abril

Autors:

Antonio Caselles (antonio.caselles@uv.es). Departament de Matemàtica Aplicada. Universitat de València. Ciutat de València. València (Spain).

Maria T. Sanz (m.teresa.sanz@uv.es). Departament de Didàctica de la Matemàtica. Universitat de València. Ciutat de València. València (Spain).

Joan C. Micó (jmico@mat.upv.es). Institut Universitari de Matemàtica Multidisciplinar. Universitat Politècnica de València. Ciutat de València. València (Spain).

Concha Soler Monreal (soler_mco@gva.es). Institut Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana. Ciutat de València. València (Spain).

Un model dinàmic per a la predicció del Covid-19 en Espanya

El model en el que tractem de predir l'evolució del Covid-19 en Espanya està basat en els models clàssics de Kermack-Mackendrick. Estos models proposen un sistema de tres equacions diferencials acoplades per a les variables principals d'una epidèmia: poblacions susceptible, endenyada i recuperada.

El model que ací proponem generalisa estos models incloent retarts constants, per lo que el model continua sent un sistema d'equacions diferencials.

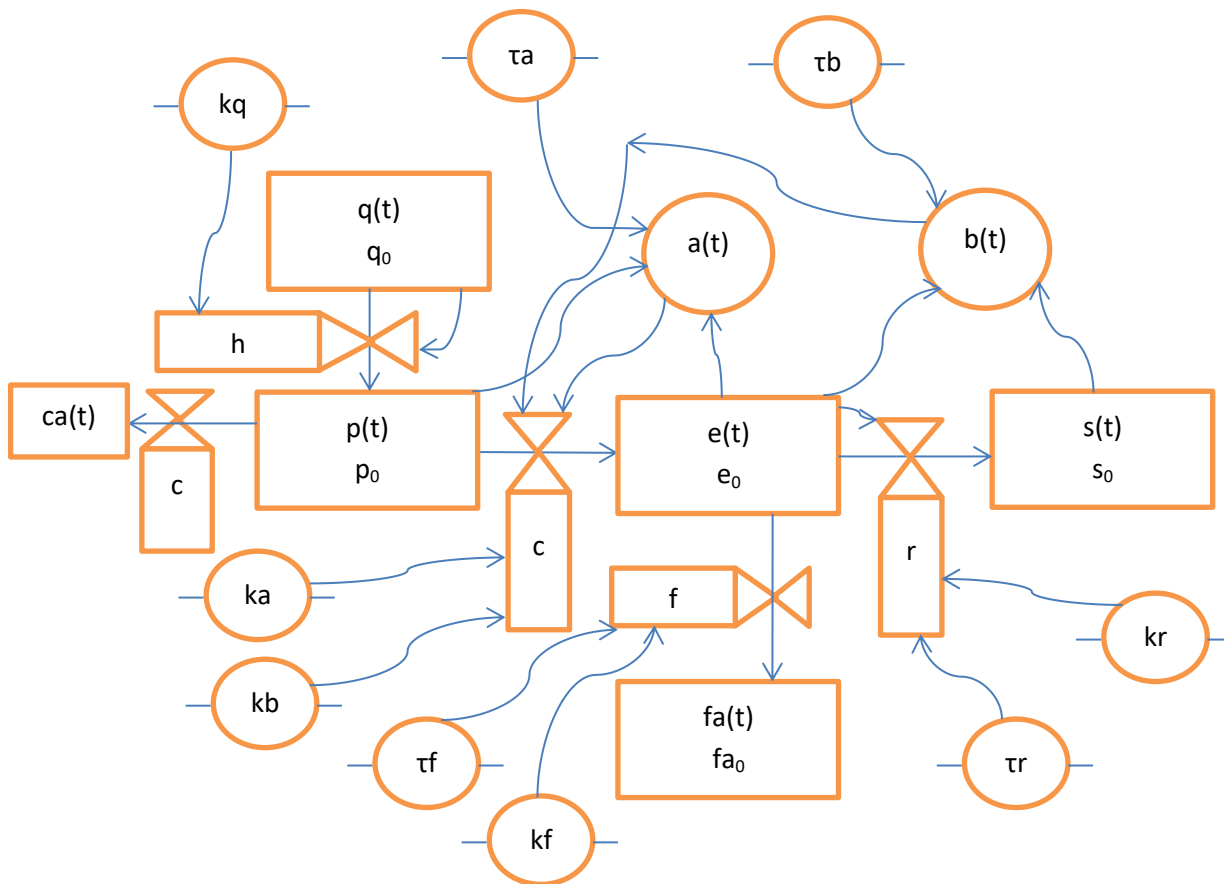
Además, gastem la metodologia de Jay W. Forrester desenvolupada en el MIT i generalisada en l'Escola d'Investigació Operativa i Sistemes de la ciutat de València. Esta metodologia utilisa un llenguatge universal, implementat a través del diagrama hidrodinàmic (Apartat 1), per a construir models dinàmics de sistemes complexos.

El model que presentem té unes variables input o paràmetres (els valors dels quals han de proporcionar-se) i unes variables output (Apartat 2) calculades a través del sistema d'equacions diferencials (Apartat 3). Per a obtenir els valors dels paràmetres per a Espanya el model se calibra usant les senyes experimentals proporcionades pel Ministeri de Sanitat d'Espanya (Apartat 4). Proporcionem l'actualisació diària del model, predint els valors de la població endenyada: a curt termini per als següents tres dies, i a llarg termini calculant el dia que s'alcancarà el màxim de la població endenyada, aixina com el seu valor (Apartat 5). Per a qualsevol altra informació, escriure als autors a través dels seus correus electrònics.

Índex

1. Diagrama Hidrodinàmic.
2. Variables del Model.
3. Equacions del Model.
4. Calibració del Model.
5. Predicció a curt i llarg termini.
6. Comentaris.

1. Diagrama Hidrodinàmic



2. Variables del Model

2.1. Variables input o paràmetres:

kq : taxa de susceptibilitat

τ_a : retart continu d'interacció entre poblacions susceptible i endenyada

τ_b : retart continu d'interacció entre poblacions susceptible i recuperada

ka : taxa d'interacció entre poblacions susceptible i endenyada

kb : taxa d'interacció entre poblacions susceptible i recuperada

τ_f : retart continu del flux de falliments de la població endenyada

kf : taxa de falliments de la població endenyada

τ_r : retart continu del flux de recuperació de la població endenyada

kr : taxa de recuperació de la població endenyada

2.2. Variables output (en equació):

$q(t)$: població del territori (Espanya)

$h(t)$: flux de població susceptible

p(t): població susceptible
c(t): flux de contagis
e(t): població endenyada
f(t): flux de falliments
fa(t): població fallida acumulada
r(t): flux de recuperats
s(t): població recuperada acumulada
ca(t): població contagiada acumulada

3. Equacions del Model

$$\frac{dq(t)}{dt} = -h(t)$$

$$h(t) = kq \cdot q(t)$$

$$\frac{dpt}{dt} = h(t) - c(t)$$

$$c(t) = ka \cdot a(t) + kb \cdot b(t)$$

$$a(t) = \frac{1}{\tau_a} p(t) \cdot e(t)$$

$$b(t) = \frac{1}{\tau_b} p(t) \cdot s(t)$$

$$\frac{de(t)}{dt} = c(t) - f(t) - r(t)$$

$$ea(t) = e(t) + f(t) + r(t)$$

$$f(t) = \frac{kf}{\tau_f} e(t)$$

$$r(t) = \frac{kr}{\tau_r} e(t)$$

$$\frac{ds(t)}{dt} = r(t)$$

$$\frac{dfa(t)}{dt} = f(t)$$

$$\frac{dca(t)}{dt} = c(t)$$

4. Calibració del Model

El model se calibra tenint en conte les senyes experimentals de les variables ca(t), e(t), fa(t) i s(t), proporcionades dia a dia pel Ministeri de Sanitat d'Espanya, les quals es poden trobar en el vincle:

“<https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/situacionActual.htm>”

La programació i calibració del model s'implementa en diferències finites mitjançant el programa SIGEM d'Antonio Caselles i l'algoritme genètic que conté.

Presentem en primer lloc la comparança entre les senyes experimentals de la població endenyada i la de contagis acumulats respecte als valors teòrics corresponents del model calibrat. El dia 1 és el 31 de gener de 2020. Per al dia de hui esta comparança se presenta en la Figura 1:

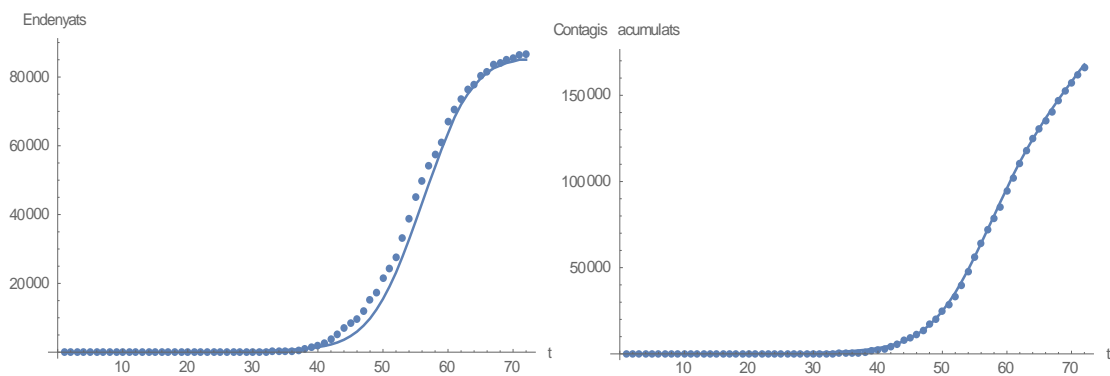


Figura 1: **Esquerra:** població endenyada (punts) i la predita pel model calibrat (curva) front al temps en dies ($R^2=0.996$). **Dreta:** contagis acumulats (punts) i la predita pel model calibrat (curva) front al temps en dies ($R^2=0.999$).

Nota: El coeficient de determinació R^2 varia entre 0 i 1. Com més prop de l'unitat millor descriu el model la realitat considerada.

5. Predicció a curt i llarg termini

L'objectiu de la predicció a curt termini és proporcionar una estimació dels endenyats i contagis acumulats dels pròxims tres dies, és dir:

Dies	Endenyats	Contagis acumulats
12/04/2020	85069	172692
13/04/2020	84950	177537
14/04/2020	84658	182348

L'objectiu de la predicció a llarg termini és localitzar el pic per als endenyats, és dir, el dia a partir del qual la població d'endenyats escomençarà a reduir-se, i la predicció de contagis acumulats. Es pot veure

en la Figura 2, que proporciona una predicció a 105 dies des del 31 de gener:

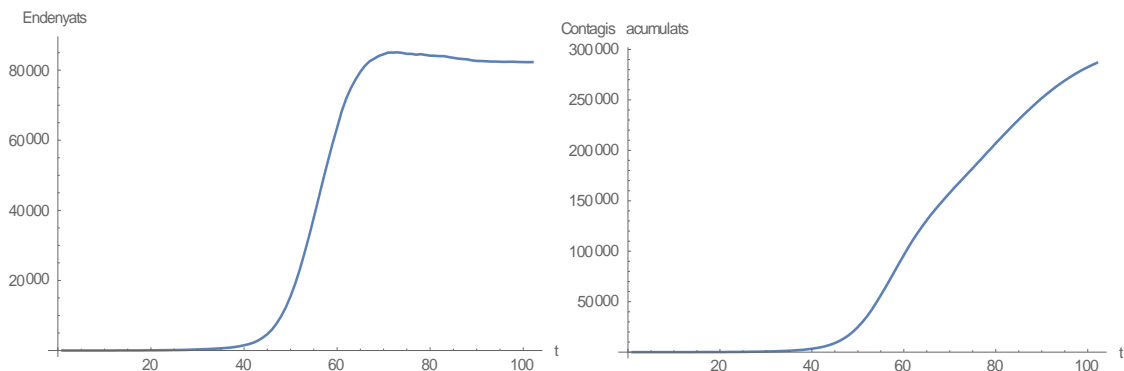


Figura 2: Esquerra: predicció de la població endenyada (curva) front al temps en dies. **Dreta:** predicció de la població contagiada acumulada (curva) front al temps en dies (el dia 1 és el 31 de gener de 2020).

La Figura 2 mostra que el **pic dels endenyats se produïx hui 12 d'abril, en un màxim de 85069 endenyats**, i en una tendència de pareix torne a baixar tímidament en un futur pròxim.

6. Comentaris

Havem de tindre en conte que el model només proporciona estimacions, no valors exactes, tant de prediccions a curt com a llarg termini. Ademés, estes prediccions poden canviar segons noves senyes experimentals vagen incorporant-se. El model podria millorar-se:

- (a) Convertint-lo en un model estocàstic, és dir, en una formulació que proporcione prediccions en intervals de confiança per a cada dia. Esta millora proporcionaria més fiabilitat al model.
- (b) Introduïnt les decisions polítiques com influències sobre els paràmetres, podent-lo convertir en un model apte per a la presa de decisions òptimes en un futur per a una crisi similar.

Estes millores s'intentaran incorporar en la col·laboració de més especialistes, tenint en conte les restriccions que tots patim en la crisi que nos afecta. Per a enfocaments comparables, veja's també els vincles:

<https://www.systemdynamics.org/covid-19>

<https://covid19.webs.upv.es>

<https://biocomsc.upc.edu/en/covid-19>