Informe Espanya Endeny Covid-19 (Coronavirus): 09 d'Abril

Autors:
Antonio Caselles (antonio.caselles@uv.es). Departament de Matemàtica Aplicada. Universitat de Valéncia. Ciutat de Valéncia. Valéncia (Spain).
Maria T. Sanz (m.teresa.sanz@uv.es). Departament de Didàctica de la Matemàtica. Universitat de Valéncia. Ciutat de Valéncia. Valéncia (Spain).
Joan C. Micó (jmico@mat.upv.es). Institut Universitari de Matemàtica Multidisciplinar. Universitat Politècnica de Valéncia. Ciutat de Valéncia. Valéncia (Spain).
Concha Soler Monreal (soler_mco@gva.es). Institut Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana. Ciutat de Valéncia. Valéncia (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 proponen 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 continüa sent un sistema d'equacions diferencials.

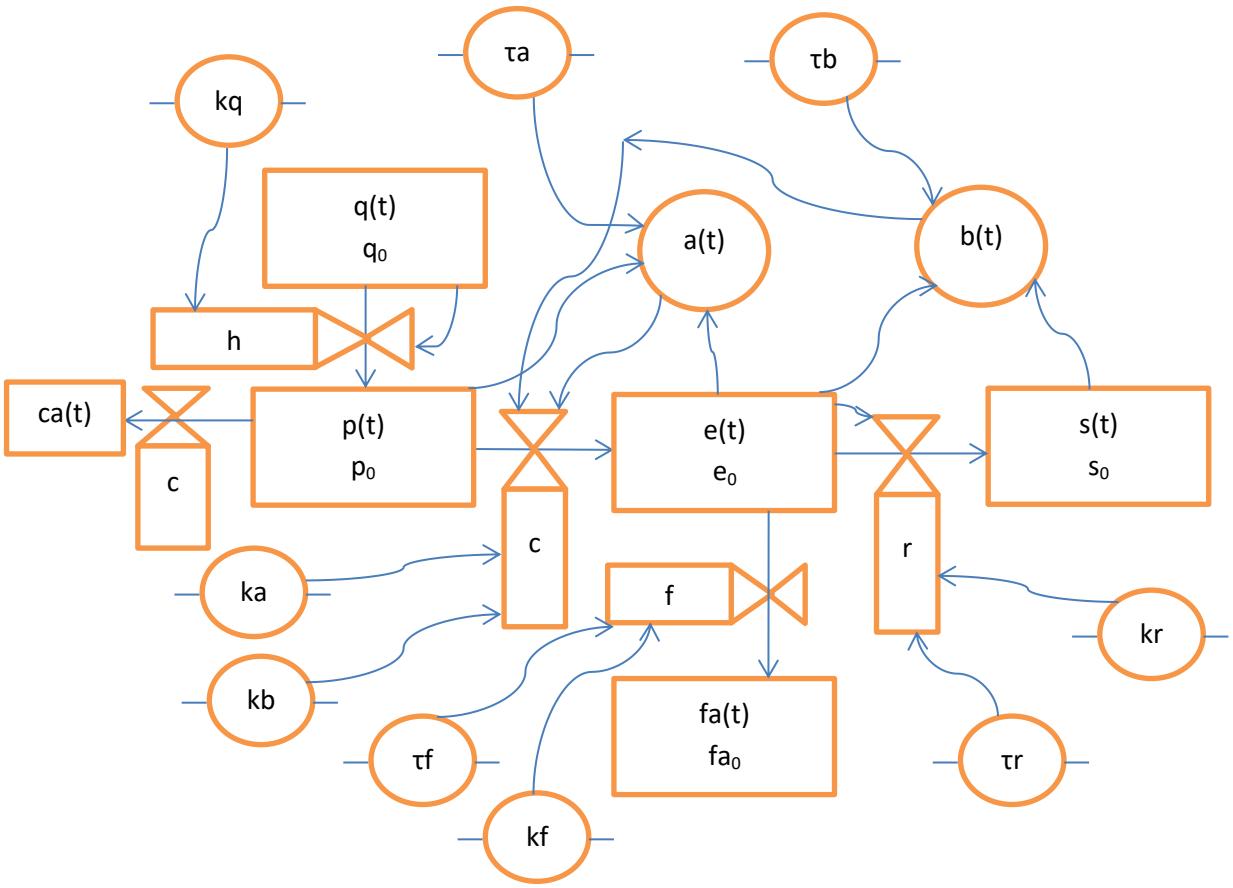
Ademés, gastem la metodologia de Jay W. Forrester desenrollada en el MIT i generalisada en l'Escola d'Investigació Operativa i Sistemes de la ciutat de Valéncia. Esta metodologia utilisa un llenguage universal, implementat a través del diagrama hidrodinàmic (Apartat 1), per a construir models dinàmics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

El model que presentem té unes variables input o paràmetros (els valors dels quals han de proporcionar-se) i unes variables output (Apartat 2) calculades a traves del sistema d'equacions diferencials (Apartat 3). Per a obtindre els valors dels paràmetros 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 determini per als següents tres dies, i a llarc determini calculant el dia que s'alcançarà el màxim de la població endenyada, aixina com el seu valor (Apartat 5). Per a qualsevol atra 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 llarc determini.
6. Comentaris.

1. Diagrama Hidrodinàmic



2. Variables del Model

2.1. Variables input o paràmetros:

kq: taxa de susceptibilitat

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

τb: 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

τf: retart continu del fluix de falliments de la població endenyada

kf: taxa de falliments de la població endenyada

τr: retart continu del fluix 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): fluix de població susceptible

p(t): població susceptible
c(t): fluix de contagis
e(t): població endenyada
f(t): fluix de falliments
fa(t): població fallida acumulada
r(t): fluix 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 mijant 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 giner de 2020. Per al dia de hui esta comparança se presenta en la Figura 1:

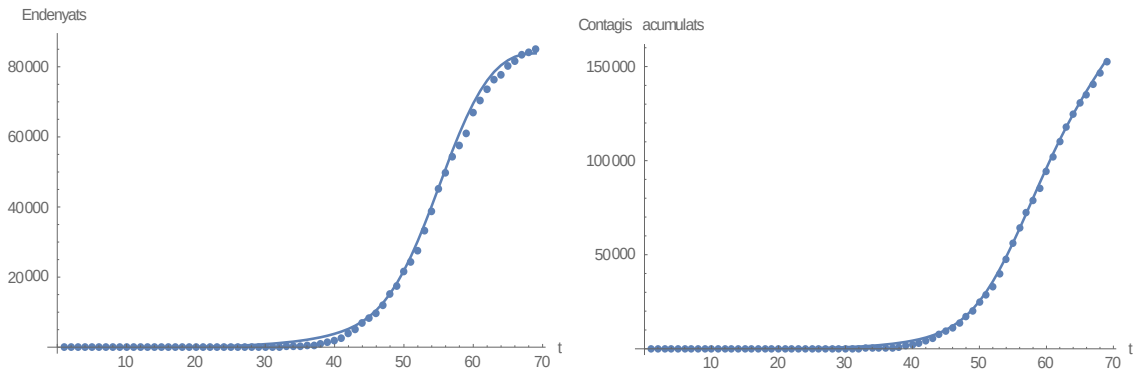


Figura 1: **Esquerra**: població endenyada (punts) i la predita pel model calibrat (curva) front al temps en dies (R^2=0.999). **Dreta**: contagis acumulats (punts) i la predita pel model calibrat (curva) front al temps en dies (R^2=0.999).

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 llarc determini

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

Dies	Endenyats	Contagis acumulats
09/04/2020	83656	159072
10/04/2020	83330	164308
11/04/2020	82877	169547

L'objectiu de la predicció a llarc determini és localisar 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 vore en la Figura 2, que proporciona una predicció a 90 dies des del 31 de giner:

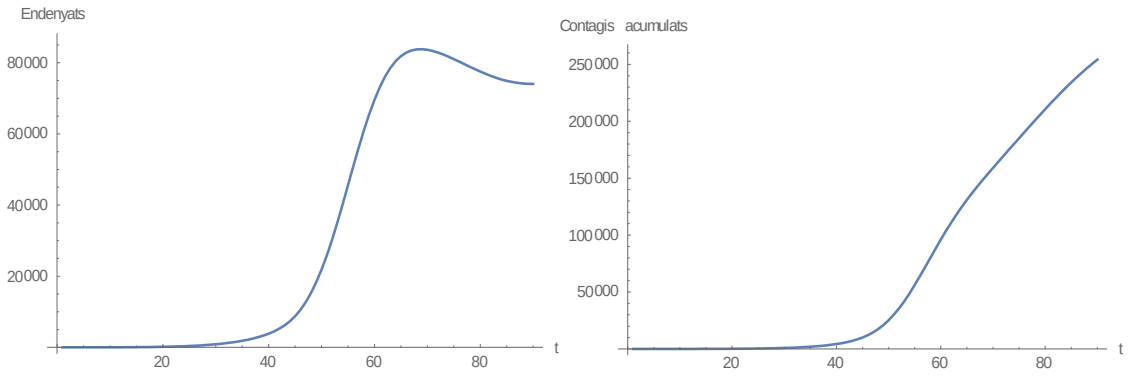


Figura 2: **Esquerra**: predicció de la població endenyada (curva) front al temps en dies. **Dreta**: predicció de la població contagiada acumulada (curva) front al temps en dies (el dia 1 és el 31 de giner de 2020).

La Figura 2 mostra que el **pic dels endenyats se produirïa hui, 09 d'abril, en un màxim de 83818 endenyats**.

6. Comentaris

Havem de tindre en conte que el model només proporciona estimacions, no valors exactes, tant de prediccions a curt com a llarc determini. 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 paràmetros, podent-lo convertir en un model apte per a la presa de decisions òptimes en un futur per a una crisis similar.

Estes millores s'intentaran incorporar en la colaboració de més especialistes, tenint en conte les restriccions que tots patim en la crisis 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