

LES MATEMÀTIQUES DEL CORONAVIRUS

Aquesta ciència exacta pot preveure la pandèmia actual?

Pseudònim: Pal

És increïble que la matemàtica, havent estat creada per la ment humana, aconsegueixi descriure la naturalesa amb tanta precisió. – Albert Einstein

AGRAÏMENTS

Primer de tot, gràcies a tutora del meu treball de recerca i que ha estat de gran ajuda durant la realització del treball. També donar les gràcies al Campus Jove Recerca de la UdG, tant per donar-me l'oportunitat de realitzar el campus com per brindar-me el contacte de dos professors d'aquesta universitat: Joan Saldaña i David Juher, a qui també dono les gràcies. Gràcies a Salomón Rebollo-Perdomo, professor de la Universitat Bío-Bío de Xile, per ajudar-me en tot moment i proporcionar-me idees engrescadores i ajut constant. Gràcies a Elisabeth Folch, analista clínica d'anàlisi Clínica Girona, per aportar-me informació i coneixements actuals i desconeguts.

Gràcies a la meva família, però en especial a la meva germana Berta, per ajudar-me en temes matemàtics més complexos i a la meva cosina Marta pel disseny de la portada.

Per acabar, gràcies a tu per llegir el meu treball. Espero que t'agradi, et faci reflexionar, i sobretot que et sigui útil i n'obtinguis quelcom de positiu.

ABSTRACT

Mi trabajo de investigación se denomina “Les matemàtiques del coronavirus” (Las matemáticas del coronavirus). En este tenía un objetivo principal que era ver si a partir de las matemáticas podía crear una curva que se aproximase al máximo a la realidad, concretamente a la realidad de la pandemia de la Covid-19 en España.

Para llevar a cabo el trabajo, he recopilado información, ya sea de diarios, de la OMS o del ministerio de Sanidad, entre otros.

He dividido el trabajo en dos partes: la parte teórica donde hablo del virus y de las variantes del coronavirus, como el SARS y el MERS; y de las matemáticas, en este apartado hablo de la polémica surgida con los datos, y realizo la gráfica real de los infectados y de los muertos por la Covid-19.

En la parte práctica, explico tres modelos matemáticos para poder prever que pasa a partir de una información inicial, estos modelos son el SIR, el SEIR y el modelo del profesor Salomón Rebollo-Perdomo. Luego, usando el último modelo, Salomón Rebollo-Perdomo, realizo una grafica que se aproxime a la realidad.

Al final, llego a la conclusión que se puede crear un modelo matemático que prevea que pasará en el futuro. Para conseguir datos más fiables, hace falta un nivel académico más elevado, ya que con mi nivel solo se puede aproximar.

ABSTRACT

My research work is called “Les matemàtiques de coronavirus”, the aim of which is to see if I could create a curve from mathematics that was approaching as close as possible to reality, namely the reality of the Covid-19 pandemic in Spain.

In order to carry out my project, I have compiled information, whether from newspapers, from the OMS or the Ministry of Health, among others.

I have divided my project into two parts: the theoretic part, where I talk about the virus and the variants of the coronavirus, such as the SARS and the MERS; and mathematics, in this section I speak of the controversy that has arisen with the data, and I make the real graph of the infected and the dead by the Covid-19.

In the practical part, I explain three mathematical models to foresee what happens from initial information. The three mathematical models are the following: the SIR, the SEIR and Professor Salomón Rebollo-Perdomo’s model. Then, using the last model I make a graph that approximates reality.

In the end, I conclude that you can create a mathematical model that predicts what will happen in the future. To get more reliable data, you need a higher academic level, because with my level you can only approximate.

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	13
PART TEÒRICA	15
1. VIRUS	16
<i>1.1 CORONAVIRUS</i>	18
<i>1.2 SARS</i>	19
1.2.1 SARS-1 o SARS-CoV	19
Cronologia	19
Origen	20
Vies de transmissió	20
Característiques clíniques	20
Període d'incubació	21
1.2.2 SARS-2 o COVID-19	21
Cronologia	22
Origen	24
Vies de transmissió	25
Característiques clíniques	26
Període d'incubació	26
Tests	27
Tractament	30
<i>1.3 MERS</i>	31
1.3.1 Cronologia	31
1.3.2 Origen	31
1.3.3 Vies de transmissió	31
1.3.4 Característiques clíniques	32
<i>1.4 EPIDÈMIA, PANDÈMIA I ENDÈMIA</i>	32
1.4.1 EPIDÈMIA	32
1.4.2 PANDÈMIA	32
1.4.3 ENDÈMIA	33
2. MATEMÀTIQUES	34
<i>2.1 POLÈMICA EN LES DADES</i>	34
<i>2.2 DADES REALS DE LA COVID A ESPANYA</i>	37
2.2.1 INFECTATS COVID	37
2.2.2 MORTS COVID	39

PART PRÀCTICA	40
3. FUNCIONS O MODELS MATEMÀTIQUES	41
3.1. <i>MODEL SIR</i>	41
3.2. <i>MODEL SEIR</i>	43
3.3. <i>MODEL SALOMÓN REBOLLO-PERDOMO</i>	43
3.4. <i>COMPARACIÓ DELS MODELS</i>	46
4. GRÀFICA	47
4.1 <i>MODEL 1</i>	47
4.2 <i>MODEL 2</i>	50
4.2.1 <i>OPCIÓ 1</i>	53
4.2.2 <i>OPCIÓ 2</i>	55
4.2.3 <i>OPCIÓ 3</i>	57
4.2.4 <i>OPCIÓ 4</i>	59
CONCLUSIÓ	61
BIBLIOGRAFIA	62
WEBGRAFIA	62
ANNEXOS	66
ANNEX 1	67
<i>GLOSSARI</i>	67
ANNEX 2	70
<i>ENTREVISTA A SALOMÓN REBOLLO-PERDOMO</i>	70
<i>PROFESSORS DE MATEMÀTIQUES DE LA UdG I</i>	75
<i>PROFESSORS DE MATEMÀTIQUES DE LA UdG II</i>	81
ANNEX 3	87
<i>TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 2 i 3</i>	87
<i>TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 4</i>	87
<i>TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 5</i>	88
<i>TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 7</i>	90
<i>TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 8</i>	93

<i>TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 9</i>	<i>94</i>
<i>TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 10</i>	<i>97</i>
<i>TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 11</i>	<i>100</i>
<i>TAULA DE VALORS PERREALIZAR LA GRÀFICA 12</i>	<i>103</i>

INTRODUCCIÓ

Casos i més casos.

Durant l'etern confinament dels mesos de març, abril i maig, el meu cap no deixava de pensar en el Treball de Recerca. Volia que fos un tema d'actualitat i relacionat amb el meu batxillerat. Així doncs, les matemàtiques.

El perquè d'aquest tema és la facilitat i el llarg vincle que hi tinc des de ben petita. Als tres anys vaig començar l'acadèmia KUMON, un mètode acadèmic alternatiu a l'educació actual. Aquesta empresa japonesa, té com a objectiu principal aconseguir el màxim desenvolupament intel·lectual de l'alumne, i tot usant un material propi, l'alumne cada vegada és més autònom i eficaç.

Un cop sabia clarament que al títol hi hauria la paraula “matemàtiques”, calia trobar què l'acompanyaria. Van ser moltes les idees, tant la màgia, les malalties neurodegeneratives o simplement el dia a dia amb elles. Com a estudiant del batxillerat científic, volia que tingués relació amb la biologia, la química o la física; tanmateix, calia trobar el què.

Però, no va ser fins al principi del confinament, que dins d'aquest ventall d'idees no hi va aparèixer el coronavirus. El perquè és senzill: en sabíem molt poc sobre aquesta malaltia i no teníem la informació suficient com per imaginar que aquests dos temes farien un bon tàndem i donarien lloc al meu treball: “Les matemàtiques del coronavirus”.

Un cop decidit el tema, em vaig endinsar en la recerca d'informació. Com que es tracta d'un tema més que actual, hi ha moltes informacions que canvien diàriament, altres que no són clares i algunes que ni tan sols se saben.

Després de dies d'investigació tant de les dades com del significat d'algunes paraules, com coronavirus, pandèmia, test serològic o quarantena, vaig veure per on podia anar el treball: en quelcom relacionat amb els casos positius.

Tal com he comentat a l'inici, els casos eren cada dia més nombrosos, no deixaven d'augmentar. La incertesa i els dubtes tampoc s'aturaven. I la por i les notícies dolentes no paraven d'arribar.

Aquí és on van sortir les dues hipòtesis:

- L'ús de les matemàtiques poden ajudar a preveure una pandèmia?
- Un model matemàtic es pot ajustar molt a una corba real?

La primera hipòtesis consisteix en comprovar si amb aquesta ciència exacta podíem preveure, mesos abans, aquesta forta onada de casos positius per coronavirus que

estem patint. La segona hipòtesi ha donat lloc a la meua part pràctica, en la qual mitjançant models matemàtics elaboro una corba dels casos positius a Espanya.

Tal com he comentat anteriorment, des de l'inici vaig buscar informació, bàsicament fonts d'internet i de llibres. Les fonts principals han estat l'Organització Mundial de la Salut (OMS), tant per aspectes teòrics com pel recompte diari de casos, i el Ministeri de Sanitat, on, de la mateixa manera que a la pàgina web de l'OMS, diàriament he descarregat el document que publicava l'Organització i així poder veure com evolucionava la corba. També han estat molt presents les notícies de diari i els articles científics relacionats amb aquest tema.

L'estructura del treball està dividida en quatre parts. La primera part inclou la part teòrica referent a la biologia, tot parlant del coronavirus i altres malalties causades per aquest tipus de virus.

Un cop hem parlat de la part biològica, anem a les matemàtiques i als números. Dins d'aquesta part trobem la polèmica en les dades i les dades reals d'Espanya amb dues gràfiques d'elaboració pròpia a partir de les dades del Ministeri de Sanitat.

La tercera part consta d'una primera part pràctica. Es tracta d'explicar els diferents models matemàtics: SIR, SEIR i model Salomón o logístic, a més també hi trobem les principals diferències.

Per últim, trobem les gràfiques. Per elaborar aquestes gràfiques m'he basat en el model del professor Salomón Rebollo-Perdomo.

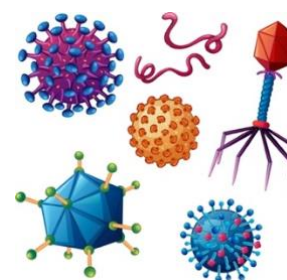
Cal afegir que al final del treball, trobem un glossari on es poden consultar les definicions d'algunes paraules clau, aquestes estan subratllades al llarg del treball.

PART TEÒRICA

1. VIRUS

Els virus, paraula llatina que significa verí, són uns agents infecciosos acel·lulars, que es van descobrir al segle XIX, gràcies a la teoria de Louis Pasteur, el microbiòleg i químic francès que va néixer el 1822 i va morir el 1895, la qual demostrava que els microorganismes no s'originaven a partir de la generació espontània, és a dir, els organismes no surten del no-res.

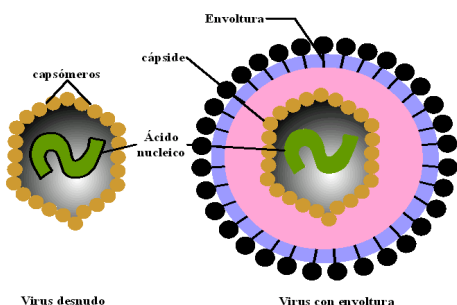
Aquests paràsits acel·lulars contenen material hereditari - sigui àcid desoxiribonucleic (ADN) o àcid ribonucleic (ARN) - a l'interior de la càpsula de proteïnes, i a vegades, estan envoltats d'un embolcall semblant a la membrana de les cèl·lules. No tenen les estructures necessàries per realitzar les funcions vitals dels éssers vius, i per reproduir-se han de parasitar una cèl·lula.



Imatge 1 – Tipologia de virus
Font: <https://tuit.cat/EkE38>

Dins dels agents infecciosos són els de dimensions més petites (d'entre 100 i 10 nm), per això és imprescindible usar un microscopi electrònic, i resulten difícils d'eliminar si no es destrueixen les cèl·lules en què viuen.

En són exemple els virus de la sida (VIH), la Covid-19 i el xarampió.



Imatge 2 – Estructura dels virus
Font: <https://tuit.cat/6tzAX>

Els virus, igual que tots els agents patògens, es poden infectar amb una transmissió directa o contagi, quan es produeix un contacte directe entre la persona infectada i la persona sana, contacte que pot ser físic o a través de les partícules despreses pel malalt; o indirecta, és a dir, els germens procedents de l'infectat passen al mitjà, aigua o aliments, i d'allà es transmeten a la persona sana.

Si el virus encara no ha entrat a l'interior de la cèl·lula que es vol infectar rep el nom de virió i és inofensiu; els virions estan compostos per una càpsida, que es tracta d'una coberta proteica que envolta l'àcid nucleic del virus i que està formada per capsòmers.

L'estructura dels virus està composta per la càpsida, l'àcid nucleic (ADN o ARN) i els enzims.

Els virus es poden classificar segons la càpsida o segons l'àcid nucleic.

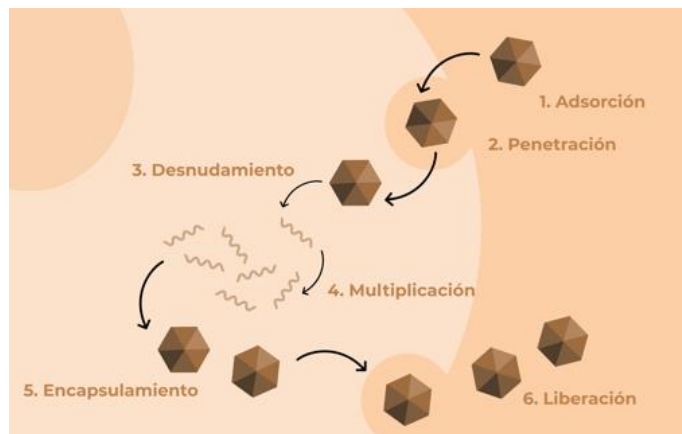
La primera classificació consisteix en quatre tipus de virus en funció de la càpsida, aquests són: els virus cilíndrics, que es caracteritzen per tenir tots els capsòmers iguals i formar una estructura helicoïdal que cobreix tot l'ARN o ADN; els virus amb embolcall lipoproteic, que presenten un embolcall format per lípids i carbohidrats que provenen de la cèl·lula hoste; els virus complexes, formats per un cap icosaèdric (on hi ha l'àcid nucleic, generalment ADN), una cua helicoïdal, el collar, que fa d'unió entre el cap i la cua, i la placa basal, la qual es troba al final i està formada per espícules i fibres caudals; i els virus icosaèdrics, que estan formats per dues tipologies de capsòmers, els pentagonals i els hexagonals.

La segona classificació la va realitzar el biòleg David Baltimore nascut l'any 1938 i va dividir-los en set grups en funció del tipus d'àcid nucleic, la forma en què generen els ARN missatgers i la manera com sintetitzen l'àcid nucleic. Dins dels virus d'ADN, en va trobar tres possibilitats: virus d'ADN bicatenari, virus amb ADN monocatenari o ADN bicatenari retrotranscrit; per altra banda, els virus d'ARN poden ser: virus d'ARN bicatenari, d'ARN monocatenari positiu, d'ARN monocatenari negatiu o virus amb ARN monocatenari retrotranscrit.

Els virus, com hem comentat anteriorment, es reproduïxen i durant aquest procés, es multipliquen i generen nous virus que infectaran més cèl·lules.

Aquests cicles poden variar en funció de quin tipus de virus estem parlant; ara

bé tots comparteixen les mateixes fases del cicle reproductiu. Tot comença amb la fixació o adsorció, on el virió entra en contacte amb la cèl·lula hoste, llavors la penetració, quan el virió entra a la cèl·lula, a continuació la replicació del genoma víric i síntesi de nous capsòmers, el virus es replica,



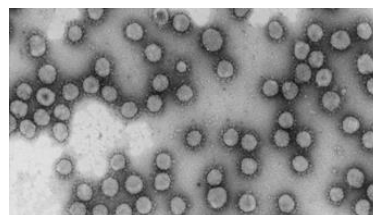
Imatge 3 - Reproducció dels virus

Font: <https://tuit.cat/6i5y2>

tant les proteïnes com el seu material genètic, seguit l'acoblament dels nous virus, en aquesta fase s'organitzen tots els elements i formen el virió, i finalment l'alliberament, és la fase en la que els virions són expulsats cap a l'exterior cel·lular on aniran a infectar una altra cèl·lula hoste.

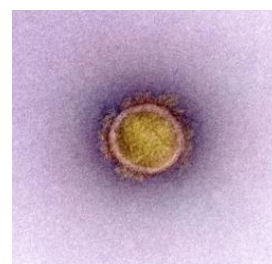
1.1 CORONAVIRUS

Els coronavirus són una família de 39 virus que es van descobrir als anys seixanta en els humans, tot i que causen malalties tant en animals com en humans i per això es consideren virus zoonòtics. Aquests coronavirus es troben dins del nidovirals, que són uns virus que es repliquen utilitzant un conjunt afegit a l'ARN missatger.



Imatge 4 – Conjunt de coronavirus vista amb microscopi electrònic
Font: <https://tuit.cat/FV2U3>

Aquest nom que se li atribueix és degut al seu aspecte físic que es pot apreciar en observar-lo amb un microscopi electrònic, el qual presenta unes punxes, que s'assemblen a una corona solar. Tal com es veu a la imatge, al nucli trobem l'ARN o material genètic (part groga) i aquest està envoltat d'una membrana de proteïnes (representada amb un color rosat).



Imatge 5 – Coronavirus vista amb microscopi electrònic
Font: <https://tuit.cat/FV2U3>

Aquesta família de virus es caracteritza per poder mutar fàcilment, cosa que dificulta la previsió epidemiològica i l'elaboració d'una vacuna, ja que va canviant el seu material hereditari i per tant la vacuna a realitzar també ha de canviar.

Es troben molt estesos en animals, presents en aus i mamífers. Dins d'aquests cal destacar els ratpenats, els quals destaquen per tenir una major varietat de genotips. Pel que fa a humans, els causen infeccions respiratòries que van des d'un constipat fins a malalties greus.

En poques ocasions, com en els casos del MERS-CoV, SARS-CoV i SARS-CoV-2, aquest virus afecta persones i després es propaga. Els tres coronavirus mencionats anteriorment, són β -coronavirus, però hi ha quatre coronavirus més que poden infectar a humans.

1.2 SARS

El SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) o en català anomenat SRAS (Síndrome Respiratori Agut Greu) és una malaltia respiratòria viral causada per un coronavirus.

Aquest síndrome s'ha manifestat dues ocasions, però amb un tipus de coronavirus diferent, el primer el SARS, el qual es va desenvolupar l'any 2002 i el SARS-2, que és la malaltia originada a finals de l'any 2019 i que durant el 2020 encara és activa.

Com és el mateix síndrome (SARS) que s'ha desenvolupat dues vegades, trobem moltes semblances en l'evolució de la malaltia, en l'origen, en les vies de transmissió, en el tractament, en la detecció d'aquesta malaltia i també en les característiques clíniques.

1.2.1 SARS-1 o SARS-CoV

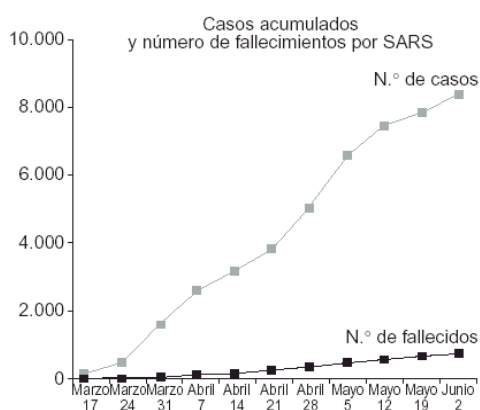
Durant els anys 2002 i 2003, es va desenvolupar la malaltia del SARS, també anomenada SARS-CoV. Aquest síndrome inicialment es va relacionar amb una pneumònia, malgrat que després de dies de recerca van veure que es tractava d'una malaltia respiratòria.

Aquesta malaltia va afectar un total de 8.098 persones, segons l'Organització Mundial de la Salut, i d'aquests, un 9,6% van morir (774 persones). En aquest cas, la letalitat es va donar principalment en persones que tenien entre 50 i 65 anys.

Tal i com veiem a la gràfica 1, en aquella ocasió, el nombre de casos va anar augmentant ràpidament durant 3 mesos, passant de 0 casos el 17 de març del 2002 a 8.000 casos a inicis de juny del mateix any.

Cronologia

Aquesta malaltia es va detectar al sud de la Xina, concretament a la regió de Guangdong, el novembre de 2002, i es va estendre per 26 regions, com ara: Hong Kong,



Gràfica 1 – Casos acumulats i número de morts per SARS.

Font: <https://tuit.cat/IVv6j>

Vietnam, Canadà i Singapur. Cal destacar que a l'estat espanyol s'hi va detectar un sol cas.

El 12 de març del 2002, l'Organització Mundial de la Salut (OMS), va declarar l'alarma global; i al cap de tres dies, la mateixa organització, va denominar SARS a la malaltia. No va ser fins al 5 de juliol de 2003, quasi nou mesos després, que l'OMS va donar per controlada la pandèmia.

Des que es va finalitzar la pandèmia, s'han notificat 17 nous casos, però l'OMS no els ha reconegut com a un nou brot; aquests van ser a Taiwan, a la ciutat origen (Guangdong) i a Pequín.

Origen

L'origen de la malaltia no s'ha concretat, però tot indica que té un origen zoonòtic, i que el coronavirus (SARS-CoV) n'és el responsable.

Hi ha hipòtesis que diuen que aquest virus es trobava a les civetes de palmera comuna, anomenades també gat ponx, i en algun moment el virus (SARS-CoV) que infectava aquests mamífers va infectar els humans, donant lloc a una infecció zoonòtica.



Imatge 6 – Civetes de palmera comuna

Font: <https://tuit.cat/Uu352>

Vies de transmissió

El principal possible contagi d'aquesta malaltia és el contacte directe, és a dir, el fet d'estar en contacte amb un cas positiu, ja sigui fent petons, abraçades o compartir menjar.

Tanmateix, es pot pensar que es propagui per l'aire o altres formes. Una d'aquestes formes és la transmissió d'animals a humans; un animal possible transmissor és el gat de civet o gat de mesquer.

Característiques clíniques

El SARS s'inicia amb febre, principalment, i apareixen altres símptomes com ara mal de cap, una sensació incòmode, mal a tot el cos i altres. A partir del tercer dia, pot aparèixer tos, falta d'alè i altres símptomes.

També és un símptoma la diarrea, prop d'un 10% dels casos el pateixen, malgrat que aquest es desenvolupa principalment durant la primera fase de la malaltia.

A més a més, es presenten casos asimptomàtics, els quals no presenten cap símptoma dels esmentats anteriorment, però en realitzar el test PCR presenten l'ARN del virus i per tant estan contagiats de la malaltia.



Imatge 7 – Febre, principal símptomes del SARS.

Font: <https://tuit.cat/dHx99>

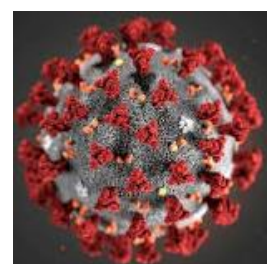
Període d'incubació

La mitjana d'incubació és d'entre 2 i 7 dies, però es pot incubar des d'un dia fins a deu dies. Pel que fa als nens, tot i presentar menys ARN del virus, el període d'incubació té una duració similar.

Tal com explica l'Organització Mundial de la Salut a l'article Alert, verification and public health management of SARS in the post-outbreak period, publicat el 14 d'agost de 2003, no hi ha hagut notificacions de transmissió de la malaltia abans de l'aparició dels símptomes, i per tant, en els casos simptomàtics no contagien a altres persones fins que comencen a aparèixer algunes de les característiques clíniques esmentades anteriorment.

1.2.2 SARS-2 o COVID-19

El SARS-2 o Covid-19 és la malaltia respiratòria aguda causada pel coronavirus o SARS-CoV-2. El nom de la malaltia, Covid-19, ve de l'anglès: coronavirus disease i l'any que va sorgir (2019).



Imatge 8 – Coronavirus

Font: <https://tuit.cat/YP970>

Aquesta malaltia ha causat una pandèmia mundial, la qual ha originat una gran crisi sanitària, a causa de la manca de mesures o d'espais mèdics, i una gran crisi econòmica, per l'obligació de realitzar un confinament que ha parat parcialment l'economia.

La malaltia ha afectat, a dia 1 de setembre de 2020, a més de 24.000.000 de casos positius confirmats arreu del món, i aquesta xifra tan elevada no deixa d'augmentar. Els països més afectats són Rússia, Estats Units, Brasil, Índia i Sud-Àfrica, en menor grau

trobem Espanya, Argentina, Xile, Iran i Aràbia Saudita. Pel que fa a Espanya, en aquesta mateixa data, s'han confirmat quasi 440.000 casos positius.

Cronologia

El 31 de desembre de 2019, l'OMS detecta diversos casos de pneumònia



Imatge 9 – Mercat de Wuhan

Font: <https://tuit.cat/0kfzz>

d'origen desconegut a la ciutat de Wuhan, capital de la província de Hubei, Xina. Tot i determinar l'origen d'aquestes pneumònies, alguns estudis informen que al mes de novembre ja hi havia contagis de coronavirus. Malgrat que no va ser fins el dia 31 de desembre, segons el diari South China Morning Post, el dia 17 de novembre es va produir el primer cas, anomenat el cas zero.

Al cap de cinc dies, el 4 de gener de 2020, es coneix a través dels mitjans de comunicació el nou tipus de pneumònia; en aquest moment hi ha 44 casos positius.

El dia 11 de gener, amb 59 casos positius, es produeix la primera mort per CoV-19 a Wuhan, malgrat que alguns mitjans de comunicació indiquen que la mort s'hauria produït el dia 9 de gener. Dos dies després, 13 de gener,

el virus s'escampa, i es comencen a registrar casos fora de la Xina. Pròximament hi ha casos a Corea del Sud, Japó i Vietnam. A partir del 23 de gener comença el terme més comú d'aquesta pandèmia, la quarantena i aïllament total, en aquest cas a la ciutat de Wuhan. Mentrestant, molts països van notificant els primers casos i els primeres morts. El dia 30 de gener l'OMS declara l'alerta sanitària internacional. Als Estats Units i Europa ja s'han detectat casos positius, però es creu que és una simple grip. El següent dia, 31 de gener, es dona el primer cas positiu a Espanya, concretament un turista alemany que es trobava a la Gomera, illa de Canàries.

Fernando Simón, director del Centre d'Alertes i d'Emergències Sanitàries, explica públicament que no preveuen un contagi local i per tant, que la malaltia no afectaria gaire a Espanya.

L'11 de febrer, Tedros Adhanom Ghebreyesus, el director general de l'Organització Mundial de la Salut, concreta el nom del nou coronavirus, SARS-CoV-2 i la malaltia com a Covid-19.



Imatge 10 – El director general de l'OMS

Font: <https://tuit.cat/if3ef>

A partir del 24 de febrer comença el sacseig a Europa. Tot s'inicia a Itàlia, concretament al nord del país, on el govern ordena el confinament de la població. Mentrestant es van donant casos positius a l'Estat Espanyol i a d'altres estats europeus.

El 3 de març es confirma la primera víctima mortal per la Covid-19 a Espanya; tres dies més tard, es confirma la primera mort a Catalunya. L'11 de març, un mes després de batejar la malaltia originada pel coronavirus com a la Covid-19, l'OMS declara com a



Imatge 11 - President del govern espanyol.

Font: <https://tuit.cat/Ag9sa>

pandèmia la malaltia. Un dia després de la declaració de la pandèmia, quatre municipis de la Conca d'Òdena, Catalunya, es confinen a causa d'un brot. Aquell mateix dia es tanquen tots els centres educatius fins a nova ordre; per tant els alumnes espanyols el divendres 13 de març ja no assisteixen a les escoles.

També es tanquen cinemes, teatres, museus, auditoris, biblioteques i altres. El govern espanyol decreta l'estat d'alarma el 14 de març. El confinament es va estenent i el 24 de març un 38% de la població mundial està confinada a conseqüència de la Covid-19. Sis dies després, Espanya endureix el confinament restringint l'activitat dels treballadors de serveis no essencials fins al 9 d'abril.

L'1 d'abril Espanya supera els 100.000 contagis i gairebé les 10.000 morts, superant així les morts de la Xina. L'endemà es descobreix la precària situació en què es troben les residències o centres geriàtrics, el 30% de les residències tenen casos positius. El 6 d'abril, Catalunya arriba al pic d'ingressats per la Covid-19 a les Unitats de Cures Intensives (UCIs). Espanya també supera el pic, i vuit dies més tard, s'aixeca el confinament total. Aquest mateix dia, Xina obra la ciutat de Wuhan. El 17 d'abril, després de veure com va evolucionant la pandèmia, Salut informa que Catalunya ja ha superat el pic de contagis, concretament el pic va ser el 8 d'abril. A finals del mes, 24 d'abril, el virus afluixa a Europa, però ataca Amèrica i països com Brasil es veuen descontrolats.



Imatge 12 - Professionals sanitaris treballant als hospitals

Font: <https://tuit.cat/LEmiH>

El primer de maig es comptabilitzen a tot el món 3 milions de contagis per la Covid-19. A partir del maig, a Espanya, comencen a implementar-se mesures, com una desescalada o desconfinament per fases (0, 1, 2 i 3), ús obligatori de mascaretes, distància de dos metres entre totes les persones, i altres.

El 13 de maig, després d'haver realitzat més d'1.600.000 proves PCR, el govern notifica que tan sols un 5% de la població espanyola ha desenvolupat anticossos, i per tant tindrien immunitat.

El dia 14 de juny Espanya ja ha realitzat més de tres milions de tests PCR des de l'inici de la pandèmia, aquest fet permet avaluar com està evolucionant la malaltia al país.

A partir de l'estiu, principalment el juliol, es comença a detectar un fort creixement de casos positius i comencen a confinar part del territori espanyol o es prenen més mesures com el retorn de fase 2 a municipis de l'àrea metropolitana de Barcelona, fet que es produeix el 18 de juliol. Durant el mes de juliol, es realitzen un gran nombre de tests PCR, aproximadament a un 90% de la població sospitosa, i d'aquests s'obté que un 50% dels positius són asimptomàtics.

Durant el mes d'agost, després de reconèixer dos mil rebrots des de l'inici de la “nova normalitat”, entre el govern espanyol i el govern català es prenen un gran nombre de mesures com ara la prohibició de fumar a la via pública si no es pot respectar dos



Imatge 13 - Escoles prenent mesures per la Covid.

Font: <https://tuit.cat/KexjV>

metres de distància. Durant els últims dies d'agost, tots els governs de les comunitats autònomes programen com anirà l'inici de del curs escolar, algunes mesures són l'ús de mascareta a partir de 6 anys, la reducció del nombre d'alumnes per classe, la modificació d'horaris i així evitar aglomeracions i altres. A dia 28 d'agost, a Catalunya, amb una reproducció del virus superior a 1, hi ha més de 104.000 casos positius per coronavirus. Aquest dia, l'AEMPS (Agència Espanyola de Medicaments i Productes Sanitaris) autoritza el primer assaig clínic per la vacuna contra la Covid-19 a Espanya.

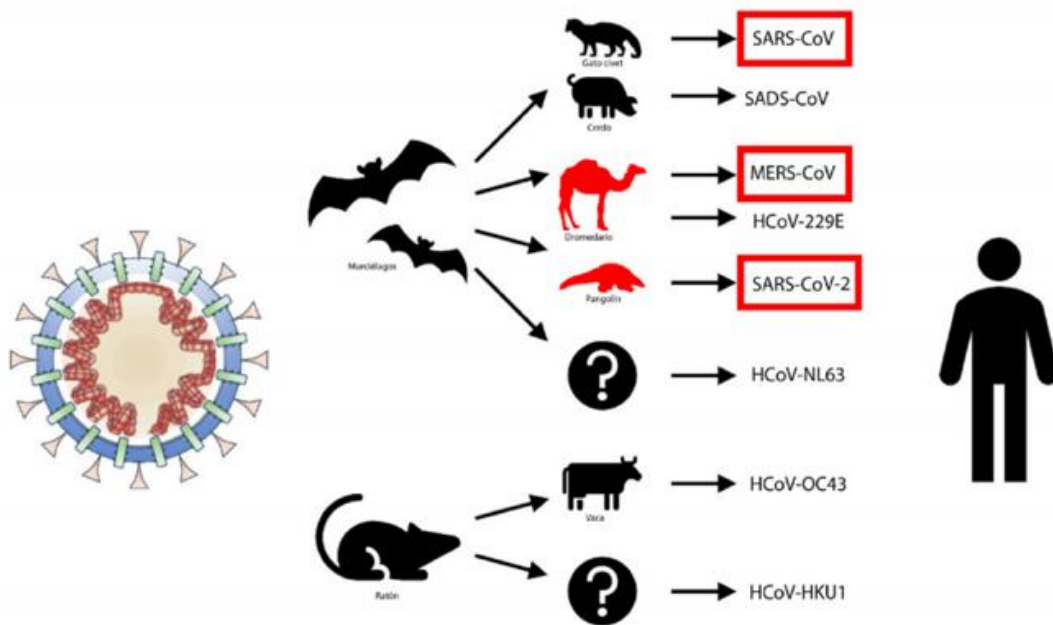
Origen

Realment l'origen d'aquest virus és desconegut; malgrat això, s'han realitzat certes teories o hipòtesis.

La primera és que el ratpenat sigui el responsable de contenir i desenvolupar el virus i que a través dels pangolins, uns mamífers que actuen com a intermediaris, hagin realitzat la transmissió zoonòtica d'animals a homes. Aquesta hipòtesi pren força perquè

al mercat de Wuhan, on es va donar a conèixer la malaltia, venen aquests animals de forma il·legal.

Una altra hipòtesi és la realització d'aquest virus a un laboratori, però l'OMS (Organització Mundial de la Salut), el passat 8 de maig de 2020, va assegurar que l'origen era animal, i per tant desmentia que fos producte de laboratori.



Imatge 14 – Transmissió del coronavirus als humans

Font: <https://tuit.cat/q9NzD>

Tal com podem veure a la imatge que s'adjunta, el coronavirus no és el primer cop que es desenvolupa en un animal, llavors es transmet a un altre el qual acaba contagiant a persones, en son exemple els tres coronavirus causants de les tres malalties més conegudes: SARS-CoV, MERS-CoV i SARS-CoV-2, però també el SADS-CoV i altres.

Vies de transmissió

El mecanisme de transmissió és desconegut, però hi ha certes hipòtesis, com que els ratpenats, els pangolins o les serps siguin els transmissors. Tot i això, està clar que també es transmet amb un contacte directe entre humans i que aquest pot ser per gotes respiratòries, a través de les mans o d'elements contaminats.

El coronavirus també es pot transmetre amb el contacte entre materials o mitjançant aerosols. Aquest virus, SARS-CoV-2, pot sobreviure fins a tres hores a l'aire, fins a quatre hores a les monedes, vint-i-quatre hores al cartró i tres dies sobre plàstic o acer inoxidable. Per tal d'evitar contagiar-se cal rentar-se les mans freqüentment i no

tocar-se els ulls, el nas ni la boca, ja que no hi ha una línia de defensa molt forta i contrauríem la malaltia.

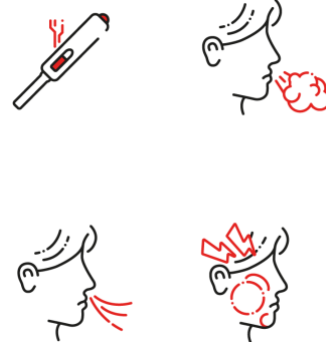
Característiques clíniques

Els símptomes són força similars entre les persones, com ara: febre, tos, pèrdua de la gana, fatiga, falta d'aire i dolor de gola.

Els casos més greus presenten dificultat respiratòria i febre elevada durant força dies; si aquests dos símptomes empitjoren, el pacient és ingressat a l'UCI.

Dins les característiques clíniques, cal tenir en compte totes aquelles persones asimptomàtiques, és a dir, aquelles persones infectades per la Covid-19 que no presenten símptomes. El percentatge d'asimptomàtics no està determinat i varia en funció del país, tanmateix tots coincideixen en el fet que els nens o joves són més asimptomàtics que no els adults.

Aquest virus, SARS-CoV-2, té moltes similituds amb una grip comuna o un constipat. Aquests tres comparteixen el fet de tenir tos, mal de cap, congestió nasal i malestar general. En canvi, la febre no apareix en totes aquestes patologies, només amb la grip i la Covid-19 se superen els 38 graus de temperatura corporal. Pel que fa a les molèsties musculars, són freqüents amb la grip i sovint amb refredat. A més a més, aquests símptomes en un refredat apareixen de forma gradual, mentre que amb la grip apareixen de cop. Finalment, veiem que a un refredat, la tos és moderada, mentre que a la grip i al coronavirus la tos és seca.



Imatge 15 – Símtomes
Font: <https://tuit.cat/0rjak>

Període d'incubació

Tal com indiquen la CDC (Centers for Disease Control and Prevention), els centres pel control i la prevenció de malalties, el període d'incubació pot durar entre dos i catorze dies després de l'exposició o infecció. Malgrat això, la majoria de contagis simptomàtics triguen entre quatre i set dies a presentar símptomes després del contagi. Tal com indica l'OMS, alguns casos presimptomàtics (estan en el període d'incubació i després seran simptomàtics) poden contagiar a altres persones.

Tests

Des de l'inici de la pandèmia la paraula tests ha estat reincident, ja sigui per la falta d'aquests, de la manca d'informació i dels seus elevats preus. Tot i això, després de passar el primer brot dels mesos de març, abril i maig, es va disposar de més tests i durant l'estiu ja no eren tant escassos.

Per començar, hem de tenir en compte quina és la funció d'un test: aquests serveixen per detectar quelcom relacionat amb el virus, ja sigui si hi ha present el seu material hereditari o si el nostre cos ha desenvolupat anticossos per tal de combatre el virus.

PCR

El primer test, i el més conegut actualment, és el test PCR. Aquest test que en anglès significa Polymerase Chain Reaction, i en català Reacció en Cadena de la Polimerasa, consisteix en una reacció química que, mitjançant canvis de temperatura, ens permet analitzar fragments d'ADN o ARN. Per tal de poder analitzar la mostra al laboratori, cal replicar alguns fragments d'aquest material hereditari. De manera que aquest test PCR es basa a detectar l'ARN del virus.



Imatge 16 – Realització de la prova PCR

Font: <https://tuit.cat/rv27e>

La mostra consisteix en una mostra nasofaríngea, aquesta es treu amb un hisop de polièster o de dacró, el qual un cop es troba a la rinofaringe es manté durant uns segons fent moviments rotatius i així s'absorbeixen les secrecions.

La interpretació dels resultats de la prova PCR pot ser: positiu, si es detecta ARN del virus, o negatiu, quan no se'n detecta. Malgrat això, un negatiu no sempre significa absència del virus, ja que dependrà de la càrrega viral del virus, la qual a l'inici de la infecció és relativament escassa; en cas de dubte es tornarà a repetir la prova.

Si fem una llista dels pros i de les contres, veiem que té molts avantatges, com la de ser una tècnica consolidada i comercialitzada per moltes empreses, és fàcil d'adaptar, es troba en uns 'kits' de detecció, té alta especificitat (menys possibilitat que hi hagi falsos positius), té una alta sensibilitat (menys falsos negatius). Per contra, trobem que requereix personal i instrumentació especialitzats, la llarga espera dels resultats i el preu d'aquest, relativament car.

Mètodes serològics per la detecció d'anticossos

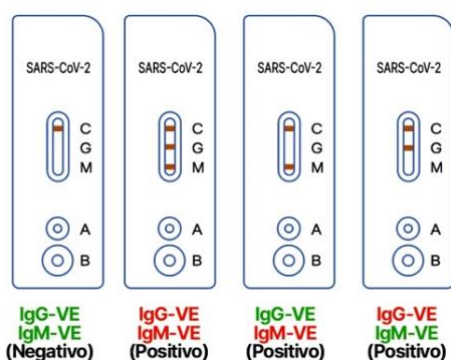
Aquests testos detecten anticossos, que són produïts pel nostre sistema immunitari després d'una infecció vírica, els anticossos específics són IgM i IgG.

Els anticossos IgM són els primers que apareixen com a resposta enfront una infecció vírica, entre els 7 i 10 dies després de la presència de símptomes i solen desaparèixer a partir del dia 20. La seva detecció indica una infecció recent. Els anticossos IgG es produeixen en una etapa posterior a la infecció i proporcionen immunitat per un nou contacte amb el mateix virus, aquests es produeixen a partir del dia 14 i a dia 1 de setembre, es desconeix la seva durada dins el nostre sistema immunològic.

El primer mètode és el mètode immunoassaig cromatogràfic, aquest detecta la presència dels anticossos IgM i IgG contra la Covid-19 en mostres de sèrum humà, plasma o sang venosa, aquest no es pot usar com a tècnica diagnòstica.

Els avantatges principals són: permet determinar en quina fase es troba el pacient, és fàcil d'usar, té una alta sensibilitat, especificitat i exactitud, és una tècnica econòmica i ràpida. Malgrat això, no és útil com a diagnòstic precoç, ja que dona positiu a partir del 7 o 10 dies de presentar símptomes i pot donar falsos positius o falsos negatius.

Pel que fa a la interpretació dels resultats, trobem quatre possibilitats. La primera és IgM negatiu i IgG negatiu, en aquest cas significa que no hi ha cap anticòs, malgrat



Imatge 17 – Resultats mètode immunoassaig cromatogràfic

Font: <https://tuit.cat/s6QUz>

que, com hem comentat anteriorment, no significa que no hi hagi infecció; com veiem a la imatge, només trobem la línia sobre la variable C. El segon cas, que com veiem a la imatge trobem visibles les línies de control C, l'IgM i IgG, significa que el pacient està en la fase aguda tardana de la infecció, són presents els anticossos IgM i IgG. El tercer cas, quan el marcador de reactiu es veu visible la línia de control C i la línia M, només es detecta l'anticòs IgM, per tant el pacient es troba en una etapa aguda de la infecció. L'últim cas és IgM negatiu i IgG positiu, en aquest, la línia es troba visible a la línia de control C i la G (IgG), això indica que el pacient està en fase de recuperació de la infecció.

Si no apareix la línia C de control, la prova és invàlida i cal repetir la prova.

Per detectar els anticossos, trobem dos altres mètodes.

El primer és el mètode ELISA, aquest mètode està definit com un assaig analític de bioquímica d'ús comú, descrit per Engvall i Perlmann l'any 1971. L'assaig utilitza un tipus de fase sòlida d'immunoassaig enzimàtic (EIA) per detectar la presència d'un lligand (generalment proteïnes) en una mostra líquida usant anticossos dirigits contra la proteïna a mesurar.

El mètode consisteix en una prova d'immunoenzim per determinar i quantificar anticossos contra SARS-CoV-2 en el sèrum humà o plasma.

L'assaig ELISA usa anticossos conjugats a un enzim que, un cop afegit el substrat cromogènic corresponent, catalitza una reacció química produint un canvi de color visible i quantificable a la mostra.

Els resultats utilitzen les unitats NTV (NovaTec) i poden ser: negatius (<9 NTV, no hi ha anticossos), dubtós ($9 - 11$ NTV, no es detecten clarament els anticossos) i positius (>11 NTV, presència d'anticossos). A més a més, es detecta quina proporció hi ha de cada tipus d'anticossos, si hi ha una alta concentració d'IgM, té una infecció actual o molt recent, si hi ha una alta concentració d'IgG amb baixa concentració d'IgM, el pacient té una infecció de fase tardana, i finalment, si mostra una alta concentració d'IgG, té una infecció passada amb immunitat.

Les característiques principals és que l'ha de realitzar personal especialitzat, el resultat es dona en unitats; per contra, és molt poc sensible davant la presència de concentracions baixes d'anticossos, característica que és solucionada amb el següent mètode.

El segon mètode s'anomena Clia o Quimioluminescència (ChemiLuminescent Immuno Assay), aquest té la mateixa base tècnica que l'Elisa, però es diferencia l'enzim que s'utilitza, el qual s'acobra a l'anticòs de detecció i catalitza una reacció que es tradueix en l'emissió de fotos que produeixen llum en lloc d'un canvi de color visible.

Els avantatges d'aquesta tècnica es basen en una alta sensibilitat, un ampli rang de detecció i un preu assequible. Degut a aquests tres avantatges, aquesta tècnica està esdevenint la més usada en la determinació dels anticossos davant de la Covid-19.

A continuació, trobem una taula, d'elaboració pròpia, on es comparen aquests dos mètodes.

ELISA	CLIA O QUIMIOLUMINESCENCIA
Usa substrats cromogènics	Utilitza substrats luminescents
Es mesura el canvi de color	Es mesura l'emissió de llum
És una prova d'alta sensibilitat	És una prova ultrasensible

Taula 1 – Característiques mètode ELISA i CLIA

Font: Elaboració pròpia

Tractament

Com que l'agent patògen d'aquesta malaltia és un virus, no es pot tractar amb antibiòtics, ja que aquests només són eficaços amb les malalties bacterianes, originades per bacteris.

Des que es va descobrir aquest virus, tots els països han estat investigant per trobar una vacuna, ja sigui des de la Universitat d'Oxford, Rússia, Xina o també des de Catalunya.

Tampoc hi ha cap medicament antiviral específic per tractar la malaltia, cosa que dificulta la cura d'aquesta malaltia de forma ràpida; tanmateix recomanen descansar, beure aigua, i, si cal, prendre Paracetamol. Però els hospitals han decidit usar altres medicaments com l'Hidroxicloroquina i el Remdesivir, els quals han provocat algun canvi en el virus, per tant han resultat ser efectius.



Imatge 18 – Vacuna contra la Covid

Font: <https://tuit.cat/Cx6hi>

Actualment, no hi ha un tractament específic i eficaç, existeixen diverses formes de protecció: rentar-se les mans freqüentment, tapar-se la cara amb el colze quan es tus, mantenir un metre i mig de distància entre persones, usar mascareta sempre que no es pugui mantenir la distància de seguretat, quedar-se a casa si es detecta algun símptoma, entre d'altres.

Un cop es trobi la vacuna contra aquesta malaltia, les persones vacunades aconseguiran la immunitat artificial, és a dir, seran immunes, ja que introdueixen a l'organisme sa, patògens sencers, els quals han perdut la capacitat de provocar la infecció però mantenen la capacitat d'estimular la resposta del sistema immunitari i així desenvolupar anticossos.

1.3 MERS

Un nou coronavirus va originar el síndrome respiratori per coronavirus a l'Orient Mitjà, anomenat MERS (Middle East Respiratory Syndrome) o MERS-CoV, que consisteix en una malaltia respiratòria vírica.

El MERS va afectar unes 2.100 persones de les quals prop d'un 37% dels casos van morir (es van notificar 791 morts), les quals patien malalties prèvies i superaven els 65 anys, principalment.

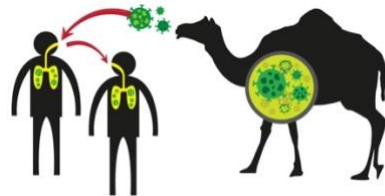
1.3.1 Cronologia

Aquesta malaltia va ser descoberta per primera vegada a Aràbia Saudita el 2012. Des del 2012 hi ha 27 països que han comunicat algun cas de MERS, en són exemples: Alemanya, Estats Units, Xina, França o Itàlia. Però tots els casos europeus tenen connexió directa o indirecta amb l'Orient Mitjà. A Espanya, durant el 2014, es van notificar dos casos no locals que provenien també de l'Orient Mitjà.

1.3.2 Origen

Aquesta malaltia, de la mateixa manera que totes les originades a partir de coronavirus, és una malaltia zoonòtica.

Concretament l'origen del virus no es coneix, tanmateix, es creu que l'origen podria ser un ratpenat i que en algun moment aquest mamífer hagués contagiat els camells.



Imatge 19 – Origen MERS

Font: <https://tuit.cat/Ef6pD>

1.3.3 Vies de transmissió

Pel que fa a la transmissió, es pot realitzar d'animals a persones, tot i que es desconeix la ruta que segueix. A priori, no sembla que el virus es pugui transmetre fàcilment d'una persona a una altra, sinó que cal un contacte estret i proper per tal de contagiar-se.

Els estudis científics demostren que les persones són infectades per un contacte directe o indirecte amb els dromedaris infectats, a més a més, en alguns països s'han diagnosticat camells amb la malaltia.

1.3.4 Característiques clíniques

En ser una malaltia respiratòria, els símptomes més freqüents són febre, tos i dificultat al respirar. També és habitual desenvolupar una pneumònia, tot i que no sempre, igual que patir diarrea o altres símptomes gastrointestinals.

Tanmateix, hi ha persones que són asimptomàtiques, sense desenvolupar cap mena de símptoma, tot i que a l'hora de realitzar el test donen positiu.

1.4 EPIDÈMIA, PANDÈMIA I ENDÈMIA

Les paraules epidèmia, endèmia i pandèmia, són paraules molt similars per això es consideren paraules parònimes, es pronuncien similar però tenen significats diferents.

1.4.1 EPIDÈMIA

El terme grec epidèmia, format a partir d'*epi-* 'sobre' i de *demos* 'poble', consisteix a l'aparició d'una malaltia en una zona determinada amb un nombre inesperat



Imatge 20 – La grip espanyola

Font: <https://tuit.cat/oXiQn>

de casos que afecta un gran nombre de persones. En són exemples les epidèmies de la pesta bubònica, la qual va tenir diversos brots entre els segles V aC i XIX dC i el Virus de la Immunodeficiència Humana (VIH), la malaltia infecta les cèl·lules del sistema immunitari i avui dia encara és molt present.

1.4.2 PANDÈMIA

Una pandèmia consisteix en una epidèmia d'una malaltia transmissible però que afecta molts països i així un gran nombre de persones.

Igual que el mot epidèmia prové del grec: *pan-* 'tot' i *-demos* 'poble'. La pandèmia més coneguda actualment és la pandèmia de la Covid-19, la qual va ser definida com a tal l'11 de març de 2020 per l'OMS. Ara bé, n'hi ha hagut moltes altres, la primera a destacar és la grip espanyola, la qual va afectar un



Imatge 21 – Representació pandèmia

Font: <https://tuit.cat/kWfDs>

quart de la població mundial i causar uns 50.000.000 morts o la pesta negra, una malaltia

infecciosa que es va estendre des de mitjans del segle XIV a l'inici del XV i va provocar un gran nombre de morts.

La imatge que trobem dins aquest apartat, representa totalment com es comporta la malaltia de la pandèmia, ja que aquesta afecta i condiona la vida de totes les persones del món.

1.4.3 ENDEÈMIA

Anomenem endèmia a una malaltia que només es desenvolupa en una regió i causa pocs casos. Aquest mot prové del grec, *éndemos*, que significa 'territori propi'.

Alguns exemples d'endèmies són: la febre groga, que és una malaltia vírica que es va desenvolupar a les zones d'Àfrica i Amèrica del Sud o el dengue, una malaltia infecciosa que es contagia amb la picada d'un mosquit.

2. MATEMÀTIQUES

Les matemàtiques han estat imprescindibles durant aquesta pandèmia, sobretot en la realització de les gràfiques, percentatges, corbes i altres; gràcies a aquestes gràfiques, podem veure i estudiar el desenvolupament de la malaltia i així fer estimacions o prediccions sobre el que passarà o sobre les mesures a prendre.



Imatge 22 - Gràfica ascendent

Font: <https://tuit.cat/1d8kz>

Tanmateix, no és una eina senzilla, i per aquest motiu hi ha una sèrie de models o mètodes, els quals tenen el mateix propòsit: aproximar i interpretar l'evolució del virus, en aquest cas, o de la variable que estiguem parlant.

2.1 POLÈMICA EN LES DADES

El coronavirus ha deixat un gran nombre de números, entre les víctimes, els casos, els recuperats, els susceptibles i altres. Però no tots els països han decidit comptabilitzar de la mateixa manera els diferents paràmetres; i aquestes decisions han portat a una confusió i una polèmica entre els països i la impossibilitat de comparar les dades d'aquests.

El primer país a patir la pandèmia, Xina, va modificar el sistema de comptabilitzar els casos el 14 de febrer, i a partir d'aquell dia van comptar com a casos



Imatge 23 – Autoritats xineses

Font: <https://tuit.cat/aLIC1>

positius tots aquells que es feien el test més els que algun professional mèdic els havia identificat símptomes de Covid-19. Abans d'aquell dia, només es confirmaven com a cas aquells pacients a qui se'ls feia un test, però aquests eren escassos i per aquest motiu es van canviar els tests. Aquest país té una altra polèmica paral·lela, i és que segons un diari de Hong Kong, hi hauria més de quaranta-tres mil casos positius més que no apareixen a les xarxes oficials, les morts (molt baixes en comparació amb la resta del món) també són tema de polèmica.

Itàlia, un dels primers països europeus a patir aquesta pandèmia, va decidir comptar com a positius tots aquells que havien donat positiu al test i també aquells que havien mort, sense tenir en compte si patien altres malalties prèvies; i per tant no eren comptabilitzats aquests ciutadans que tenen símptomes significatius, ja que no havien

donat positiu al test. Aquest país va realitzar forces tests a la població, però quan el virus ja era molt present i per tant era difícil eliminar-lo.

El govern espanyol tan sols comptava com a morts per coronavirus aquelles persones que havien donat positiu en un test, i per tant no comptaven aquelles que havien tingut contacte amb algun cas positiu, ni les que presentaven símptomes. El dia 29 d'abril, el diari Vila Web, publicava un article titulat: *Els casos reals de Covid-19 a l'estat espanyol poden ser més de 2'5 milions*. Aquest article qüestiona el recompte d'aquest país, justificat però per la gran quantitat diària de casos positius .



Imatge 24 – Fernando Simón, Director del Centre de Coordinació d'Alertes i Emergències Sanitàries del Ministeri de Sanitat

Font: <https://tuit.cat/WkmHG>

Al país veí, Portugal, van establir restriccions similars a les d'Espanya, però van realitzar ràpidament un gran nombre de test i així van poder veure l'evolució de la malaltia. A més a més, van destinar uns espais mèdics únicament per coronavirus i així van evitar contagis en els hospitals.

A Alemanya, van decidir des del principi realitzar un gran nombre de testos a tota la població i així van saber com evolucionava el virus al seu país. Aquesta estratègia és la mateixa que va seguir Corea del Sud.

Hi ha dos països (Anglaterra i Estats Units) que van adoptar una postura ignorant, donant a entendre als seus habitants que la Covid-19 es tractava d'una malaltia



Imatge 25 – Estats Units, una dona amb mascareta

Font: <https://tuit.cat/WkmHG>

similar a la grip i que no s'havien de confinar ni tenir por; per aquest motiu, volien aconseguir la immunitat col·lectiva. Tanmateix, els casos i les morts van anar augmentant de forma notable. Pel que fa al país estatunidenc, el seu president, Donald Trump, moltes vegades evitava comentar la tragèdia que vivia el seu país.

Per altra banda, el petit país fronterer, Andorra, va actuar de forma contundent contra el coronavirus, tot realitzant testos a tota la població i així determinar quin percentatge d'aquesta havia passat aquesta malaltia.

Finalment, Suècia, el país que va decidir no imposar cap confinament als seus ciutadans, va veure que no era una bona estratègia amb una mortalitat més alta que els seus països fronterers. Pel que fa al recompte dels casos, només tenien en compte aquelles

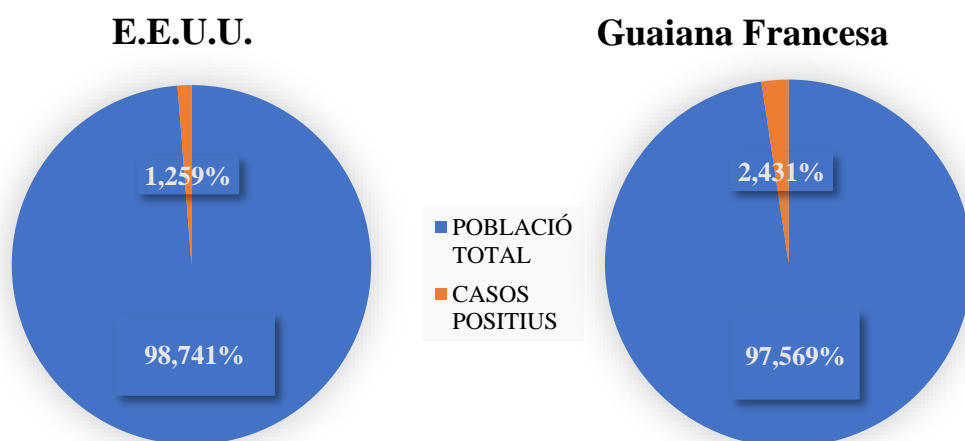
persones que havien donat positiu a la prova, sense donar importància on s’havia realitzat: a casa, en hospitals o en residències; per tal de poder seguir l’evolució de la corba feien cent mil proves setmanals.

A més a més de les diferències esmentades, cal tenir en compte una altra dada molt rellevant: el nombre total de morts o d’infectats no és una dada que cal analitzar de forma aïllada, sinó que cal comparar-la amb la població total de cada país, ja que el nombre d’habitants difereix molt entre països, el que farà que la incidència de la pandèmia sigui relativament alta o baixa.

Si analitzem el cas dels Estats Units, segons l’Organització Mundial de la Salut, a dia 28 de juliol de 2020 tenia confirmats 4.209.509 casos positius i 146.331 morts, amb una població total de 334.484.215 habitants. Així doncs els casos positius són d’un 1,259% i el dels morts, d’un 0,044%. En canvi, a la Guaiana Francesa, al mateix dia, amb una població de 309.304, té 7.514 casos positius i 201 morts, cosa que fa augmentar els percentatges, malgrat tenir uns nombres reals inferiors al país americà: amb un 2,43% de casos positius i un 0,065% de morts per culpa del coronavirus.

Feta aquesta comparativa i les gràfiques que trobem a continuació, podem veure que no per tenir més casos positius, la malaltia ha afectat més en aquell indret, sinó que per analitzar la incidència de la malaltia és important fer-ho de forma percentual.

Cal indicar, que en el cas dels morts a causa de la malaltia, com el percentatge entre ambdós països (E.E.U.U. i Guaiana Francesa) són tan similars, no es pot apreciar la diferència i per això no s’inclouen.



Gràfica 2 – Casos positius Estats Units a dia 28 de juliol de 2020 respecte la població total del país

Font: Elaboració pròpia amb les dades de l’OMS

Gràfica 3 – Casos positius Guaiana Francesa a dia 28 de juliol de 2020 respecte la població total del país

Font: Elaboració pròpia amb les dades de l’OMS

Com podem veure, i com hem comentat anteriorment, el percentatge de casos positius en el país dels Estats Units d'Amèrica i a la Guaiana Francesa, és d'1,259% i de 2,431% respectivament, però es diferencien de més de 4.200.000 casos.

D'aquesta manera podem comparar les afectacions de la pandèmia entre països de manera realista, tenint en compte els casos positius i els que han acabat causant la mort al pacient en comparació amb la població total.

2.2 DADES REALS DE LA COVID A ESPANYA

Totes les dades que s'esmentaran a continuació són els infectats i els morts des del dia 24 de febrer i fins al 31 de maig de 2020 i la informació està extreta diàriament del Ministeri de Sanitat d'Espanya.

Tanmateix, hi ha dos errors o manca d'informació: el primer és la diferència horària en què es publiquen els documents, alguns a la una del migdia, altres a les nou del vespres i altres que no s'indica l'hora. I per altra banda, el dia 23 de març, es van valorar tots els casos i en veure alguns errors, van modificar la dada de casos i això ha causat una disminució d'11.000 casos d'un dia per l'altre. Aquest mateix error passa el dia 25 de maig, però la diferència no és tant notable i per això no es pot apreciar a la gràfica.

2.2.1 INFECTATS COVID

La gràfica que hi ha a continuació es tracta d'una acumulació constant de les persones infectades a Espanya.

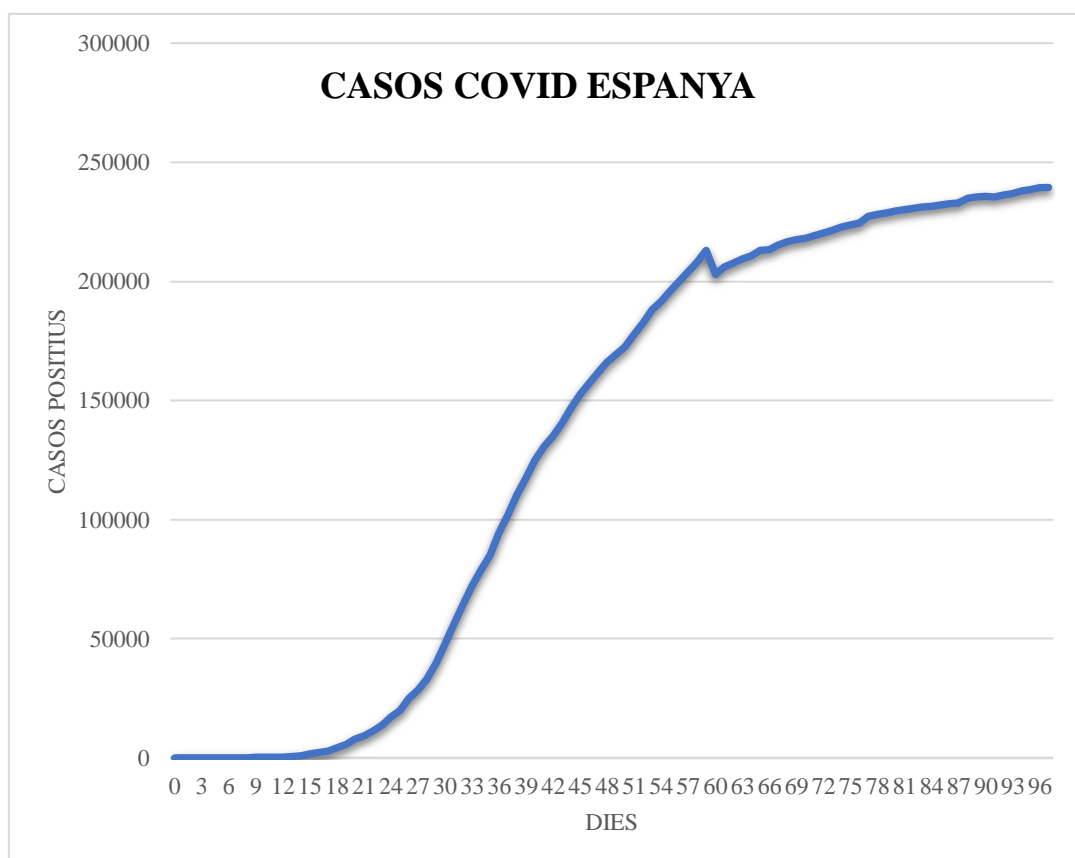
Com veiem a l'apartat anterior, el recompte de les dades s'inicia el 24 de febrer, ja que és el primer dia amb casos consecutius, Espanya ja té 3 casos positius per la Covid-19, i s'acaba el 31 de maig de 2020, quan a Espanya s'han notificat 239.429 casos. La diferència entre aquests dos dies és de 239.426 casos positius en 96 dies.

Les dades d'Espanya són realment elevades en comparació amb països semblants, amb un gran nombre de casos i augments diaris de més de 6.000 casos, aquests grans augments es van realitzar del 23 de març fins al 4 d'abril i a més el 7 d'abril. D'aquests dies amb augments tan significatius cal destacar el dimarts 31 de març, quan d'un dia per l'altre els casos van passar de 85.195 (el dilluns) a 94.417 (el dimarts), augmentant en 9.222 casos.

Tal com podem veure, inicialment els casos eren relativament insignificants, però amb el pas dels dies, es va produir un augment del nombre de reproducció R_0 , que consisteix en el nombre mitjà de casos nous a què dona lloc per contagi directe cada cas existent, tal com indica Xavier Mora al seu article “El nombre de reproducció de la Covid-19 i el model SIR. L’efecte dels retards de comptabilització”.

Com es mostra a la gràfica, entre els dies 20 i 50 es produeix un augment constant, aquests dies coincideixen amb els dies 15 de març fins al 14 d’abril. Durant aquests dies és quan el confinament a Espanya va ser més estricte, però probablement gràcies a aquestes restriccions el creixement diari va anar minvant fins a estabilitzar la corba.

La gràfica tan sols mostra els casos fins al 31 de maig, quan a Espanya ja s’havien detectat 239.429 casos positius. A partir del juliol, els casos tornen a augmentar significativament.



Gràfica 4 – Casos de la Covid-19 a Espanya des del 24 de febrer fins el 31 de maig de 2020.

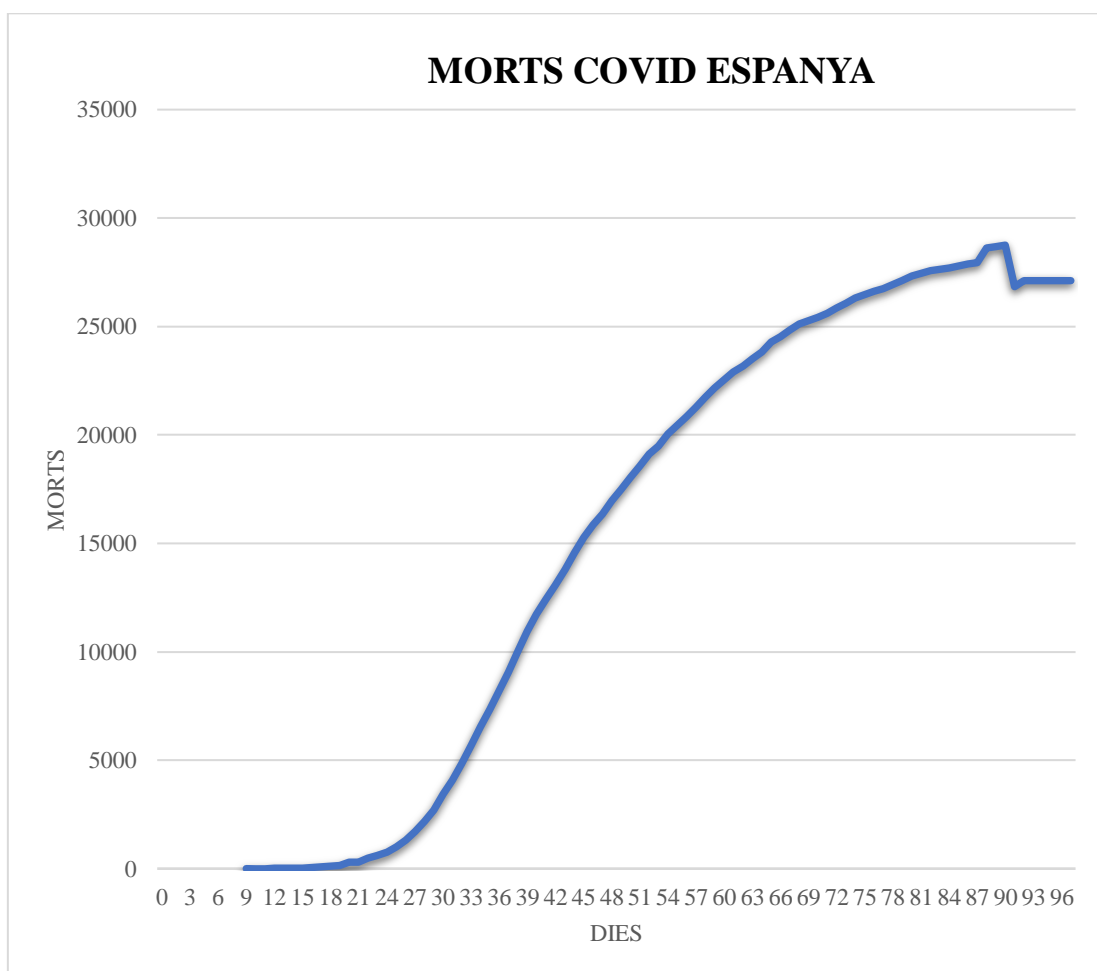
Font: Elaboració pròpia a partir de les dades diàries del Ministeri de Sanitat

2.2.2 MORTS COVID

A la gràfica següent es presenten les morts que la malaltia Covid-19 ha causat a Espanya.

Cal destacar que fins al dia 25, les morts no arribaven a 1.000. Però a partir d'aquest dia, els casos augmentaven diàriament, fins a sumar 1.000 morts en un dia. L'últim dia de la gràfica, el 31 de maig, s'han notificat 27.127 morts.

Tal com s'ha comentat a la gràfica anterior, la dels casos positius, només es mostren les morts que s'han notificat des del 24 de febrer, el dia 0, fins al 31 de maig, el dia 97. A causa del nou repunt de casos durant els mesos d'estiu, van augmentar les morts.



Gràfica 5 – Morts per la Covid-19 a Espanya des del 24 de febrer fins el 31 de maig del 2020.

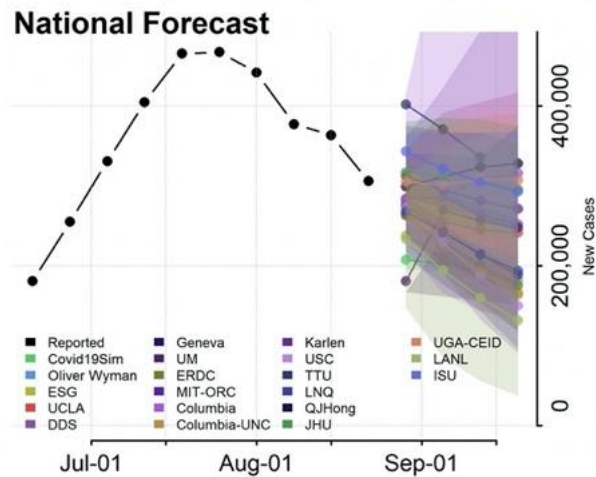
Font: Elaboració pròpia a partir de les dades diàries del Ministeri de Sanitat

PART PRÀCTICA

3. FUNCIONS O MODELS MATEMÀTIQUES

Les matemàtiques ja estaven relacionades anys enrere amb molts aspectes mèdics, un d'aquests vincles és en l'epidemiologia, on gràcies a càlculs matemàtics estimats es preveu que passarà. Per realitzar aquestes corbes aproximades, existeixen diversos models, cadascun dels quals analitza funcions diferents. Però tal com hem comentat anteriorment, l'objectiu és preveure i analitzar la situació.

Per tal de preveure què passarà amb la pandèmia actual, s'han utilitzat un gran nombre de models els quals utilitzen diferents incògnites, diferents càlculs o simplement són diferents i porten a un gran ventall de possibles escenaris. Aquesta idea la recull el CDC a l'article anomenat *Interpretation of Forecasts of New Cases*, que tal com podem veure al gràfica



Gràfica 6 – Gràfica casos EEUU i previsió dels models

Font: <https://tuit.cat/vgqvQ>

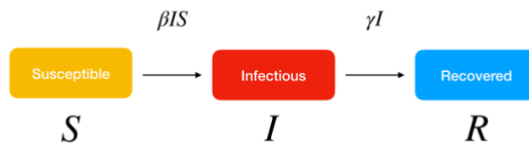
6, dibuixa amb negre els casos reals dels Estats Units, i a partir de certa data dibuixa de diferents colors els diferents models, com ara el model Columbia (Columbia University), el JHU_IDD (Johns Hopkins University, Infectious Disease Dynamics Lab) o el USC (University of Southern California).

3.1. MODEL SIR

El primer model és el model SIR, que consisteix en un sistema d'equacions amb diverses variables, concretament són tres equacions, cadascuna de les quals representa una població diferent: la susceptible, la infectada i la recuperada.

Aquest model va ser dissenyat l'any 1926 per l'epidemiòleg i matemàtic Anderson Gray McKendrick, nascut a Edimburg el 1876 i mort el 1943, a l'article anomenat *Applications of Mathematics to Medical problems*, aquest model és

compartimental, ja que classifica les classes d'individus diferents. Al 1927, un bioquímic escocès i ell mateix van elaborar la teoria de Kermack-McKendrick sobre la propagació de malalties infeccioses. A continuació trobem les tres equacions:



Imatge 26 – Esquema model SIR

Font: <https://tuit.cat/vgqvQ>

1. $S(t + 1) = S(t) - \beta_t \cdot S(t) \cdot \frac{I(t)}{n_T}$
2. $I(t + 1) = I(t) - \beta_t \cdot S(t) \cdot \frac{I(t)}{n_T} - \gamma \cdot I(t)$
3. $R(t + 1) = R(t) + \gamma \cdot I(t)$

Al llarg d'aquestes equacions, veiem que el que calculem és la població, susceptible, infectada o recuperada, un dia després de t , és a dir, d'aquell dia, del qual ja en sabem les dades. Seguidament i de manera recurrent, calculem la resta de dies.

A la primera equació, trobem que: la població susceptible a ser infectada el dia següent $[S(t + 1)]$, és igual a la població susceptible a ser infectada el dia t $[S(t)]$ menys la taxa de transmissió el dia t $[\beta_t]$ multiplicada per la població susceptible a ser infectada el dia t i per la fracció $\left[\frac{I_t}{n_T}\right]$, on al numerador hi ha la població infectada el dia t i al denominador la població total.

L'equació de la població infectada, la segona del llistat, correspon a: la població infectada el següent dia $[I(t + 1)]$ que és igual a la població infectada el dia t $[I(t)]$ menys la taxa de transmissió el dia t $[\beta_t]$ multiplicada per la població susceptible a ser infectada el dia t i la fracció $\left[\frac{I_t}{n_T}\right]$, amb numerador de la població infectada el dia t i denominador de la població total i restem la taxa de recuperació $[\gamma]$ per la població infectada el dia t $[I(t)]$.

Per últim, l'equació de la població recuperada, la qual es pot representar amb una R (recuperada) o amb una X , per tal d'eliminar la possible confusió entre aquesta població i el nombre de reproducció. La població recuperada el dia següent $[R(t + 1)]$ és igual a la població recuperada el dia t $[R(t)]$ més la taxa de recuperació $[\gamma]$ per la població infectada el dia t $[I(t)]$.

3.2. MODEL SEIR

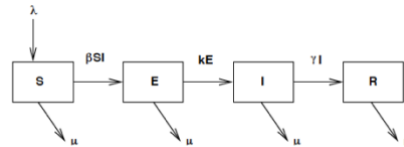
D'aquest model esmentat anteriorment, el SIR, hi ha una millora més complexa, anomenada el SEIR, el nom, com es veu a la imatge és un acrònim de les quatre poblacions que s'estudien. Aquest model no conté 3 variables sinó 4, la quarta correspon a l'exposició (E), que consisteix a simular un període d'incubació, per tant cal saber altres variables. El model SEIR consta de quatre equacions diferencials:

$$1. \quad \dot{S} = -\beta SI + \lambda - \mu S$$

$$2. \quad \dot{E} = \beta SI - (\mu + \kappa) E$$

$$3. \quad \dot{I} = \kappa E - (\gamma + \mu) I$$

$$4. \quad \dot{R} = \gamma I - \mu R$$



Imatge 27 – Esquema model SEIR

Font: <https://tuit.cat/5X662>

A més a més, trobem una última equació, la qual diu que tota la població [N] és igual a la suma dels susceptibles [S], dels exposats [E], dels infectats [I] i dels recuperats [R]; per tant queda així: $N = S + E + I + R$.

A l'equació número 1, la que parla sobre la població susceptible, consisteix a dir que la derivada de la població susceptible [\dot{S}], és igual a menys la taxa de transmissió [β] per la població susceptible [S], per la població infectada [I], més la taxa de recuperació [λ] menys la taxa d'eliminació [μ] multiplicada per la població susceptible [S].

L'equació nova respecte al model SIR, la de l'exposició, es basa en: la derivada de la població exposada [\dot{E}] és igual a la taxa de transmissió [β] per la població susceptible [S], per la població infectada [I], menys la suma de la taxa de mortalitat [μ] i la taxa de progressió d'exposat a infectat [κ] multiplicat per la població exposada [E].

La tercera equació es basa en el fet que la derivada de la població infectada [\dot{I}], correspon a la taxa de progressió d'exposat a infectat [κ] multiplicat per la població exposada [E], menys la suma de la taxa d'eliminació [γ] i la taxa de recuperació [μ], multiplicat per la població infectada [I]. A dins d'aquesta població, hi trobem tant els individus simptomàtics com els asimptomàtics.

L'equació de la població recuperada, l'última, és la derivada de la població recuperada [\dot{R}] que és igual a la taxa d'eliminació [γ] per la població infectada [I] menys la taxa de recuperació [μ] per la població recuperada [R].

3.3. MODEL SALOMÓN REBOLLO-PERDOMO

El passat 14 d'abril de 2020, el professor de la universitat del Bío-Bío, de Concepción (Xile), Salomón Rebollo-Perdomo, va publicar un article al portal *MATerials MATemàtics (MAT²)*, titulat *Un modelo simple para el número de infectados por Covid-19*. Dins aquest article, el professor proposa un model que, de la mateixa manera que els dos anteriors, té com a objectiu preveure que passarà amb l'evolució dels casos positius i les víctimes mortals.

El model presentat pel professor Salomón Rebollo-Perdomo, consisteix en una equació matemàtica: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot (N - X)$. Aquesta no té un nom específic, per aquest motiu, i després de parlar-ho amb els professors de la Universitat de Girona Joan Saldaña i David Juher, l'anomenaré equació SI (susceptibles i infectats) o equació logística, ja que prové d'un model logístic.

Trobem diverses incògnites, la primera és $\frac{dX}{dt}$ aquesta fracció consisteix en la derivada de X en funció de la variable t (el temps), per tant la velocitat d'augment del nombre d'infectat amb l'avanç del temps, d'aquesta afirmació podem extreure una igualtat que serà molt important per elaborar altres models més exactes: $\frac{dX}{dt} = \frac{X_1 - X_0}{1 - 0}$; la segona variable és la k , aquesta és la constant d'infectabilitat de la malaltia, per aconseguir aquest valor, cal usar dades anteriors dels dies que volem preveure i fent la mitjana aritmètica d'uns quants valors, trobarem la k ; el producte $X \cdot (N - X)$, és el nombre d'interaccions que hi ha entre infectats i no infectats, i finalment la N és la població espanyola, que he fixat en 47.329.981 habitants.

Un cop tenim la igualtat, $\frac{X_1 - X_0}{1 - 0} = k \cdot X \cdot (N - X)$, podem passar a multiplicar l' 1 , i ens queda $X_1 - X_0 = k \cdot X \cdot (N - X)$, d'aquí aïllem la k : $\frac{X_1 - X_0}{X \cdot (N - X)} = k$. A partir d'aquí, i mitjançant dades oficials del ministeri de Sanitat, calcularem la k .

Un cop es calcula la k , ja es té el valor que faltava, i per tant ja es pot buscar quants casos hi haurà el següent dia; tot fent la distributiva de l'equació anterior ($X_1 - X_0 = k \cdot X \cdot (N - X)$) i obtenim que $X_1 = \frac{(K_0 \cdot N - 1) + \sqrt{(K_0 \cdot N - 1)^2 + 4 \cdot K_0 \cdot X_1}}{2 \cdot K_0}$, i per tant ja tenim aïllada la incògnita que estem buscant (X_1).

Per acabar amb aquest model, el professor troba la X , mitjançant càlcul integral, i obté que:
$$X(t) = \frac{N \cdot X_0}{X_0 + (N - X_0) \cdot e^{-k \cdot N \cdot t}}$$

El professor xilè proposa un altre model, on té en compte algunes variables no esmentades anteriorment i sobretot té en compte altres aspectes, com ara el confinament, ja que en el primer, tan sols té en compte que una persona contagiada no té contacte amb tots els no infectats, sinó que només les persones properes al contagiats; per tant, i tal com indica en Salomón al seu article, a aquest primer model, tan sols falta tenir en compte que cada dia hi haurà menys no infectats que interactuen amb els infectats.

Salomón, tot tenint en compte el confinament, incorpora al primer model, la següent resta: $I - C$, la qual consisteix en el percentatge de població no infectada, ja que la C és la quantitat de confinats de la població total, el valor d'aquesta pot oscil·lar entre 0 i 1. De manera que ens queda que $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot ((1 - C)N - X)$.

Quan es parla de població confinada, i per tant de com es comporta la C durant el temps, s'estableix que al principi no hi ha gairebé ningú confinat, i per això la C té un valor pròxim a 0. Amb el pas dels dies, la quantitat de gent confinada augmentarà i el valor de C també, estant a un valor molt pròxim a 1. Com que la C va variant en funció del pas dels dies, podem dir que C depèn del temps i llavors la representem com a $C(t)$. Aquesta C que depèn del temps, correspon a la proporció màxima de confinament esperat [C_{max}] entre la suma d'1 més una constant positiva [a] pel paràmetre b en la funció exponencial:
$$C(t) = \frac{C_{max}}{1 + a \cdot e^{bt}}$$

Per tant, el tercer model, i el definitiu és: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot ((1 - C(t))N - X)$. Tenint en compte la definició de $C(t)$, ens porta a: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot \left(\left(1 - \frac{C_{max}}{1 + a \cdot e^{bt}} \right) N - X \right)$, on $\frac{dX}{dt}$ indica la derivada de X respecte de t , $X'(t)$.

3.4. COMPARACIÓ DELS MODELS

D'aquests tres models esmentats, i tan diferenciats, trobem avantatges i inconvenients a l'hora d'aplicar-los.

Quan comencem a comparar els tres models, veiem que el primer, SIR, té en compte la població susceptible, la infectada i la recuperada; que el model SEIR, té en compte tota la població, la susceptible, exposada, infectada i recuperada; mentre que l'últim model (SI) només té en compte la població infectada i la susceptible. I per tant, el model SEIR, és el més complet, i com a resultat el que més s'aproximarà a la realitat, el model SIR, és força complet, però el model SI és el més incomplet.

El model d'en Salomón, tal com ell mateix indica al seu treball, no considera que un cop es pateix la malaltia s'és immune al virus i tampoc permet modelar la taxa de contagi (k); de manera que no reflecteix de forma exacta com evoluciona la corba.

Per altra banda, tant el model SIR i SEIR, tenen equacions diferencials, les quals no entren al temari de primer de Batxillerat, i per tant, són d'un nivell superior al meu, cosa que impossibilita usar aquests dos models. Per contra, el model del professor xilè, no conté equacions diferencials, sinó equacions de primer grau i múltiples operacions assequibles.

4. GRÀFICA

Tot usant els dos models del professor Salomón Rebollo-Perdomo, realitzaré una corba a partir de les dades del Ministeri de Sanitat dels 14 primers dies de l'acumulació constant de casos positius; és a dir, del 24 de febrer (dia 0) al 9 de març (dia 14).

La taula de valors de cadascuna de les gràfiques que es mostren a continuació es troben a l'ANNEX 3.

4.1 MODEL 1

A continuació veiem el primer model. Per tal de poder calcular les dades del dia següent, utilitza les dades del dia anterior i altres constants: N , és la població total, k que com explico a l'apartat 3.3, és la constant d'infectabilitat de la malaltia, la qual aconseguirem fent la mitjana aritmètica dels valors de la k_0 , la k_1 , la k_2 , la k_3 , la k_4 , la $k_5 \dots$ i la t , que consisteix en el dia que estem buscant. Per tant, després d'haver realitzat el càlcul integral aconseguim trobar la $X(t) = \frac{N \cdot X_0}{X_0 + (N - X_0) \cdot e^{-k \cdot N \cdot t}}$.

Mitjançant el programa informàtic Excel, he aconseguit una graella on m'indica quants casos hi ha cada dia. Tot i això, he calculat un dia a mà i així poder veure que l'eina informàtica és tan sols una ajuda.

Càlcul dels casos del dia 2.

$$X(t) = \frac{N \cdot X_0}{X_0 + (N - X_0) \cdot e^{-k \cdot N \cdot t}}$$

$N = 47.329.981$ (Població espanyola)

$X_0 = 3$ (casos del dia anterior)

$k = 5'70121078794 \cdot 10^{-9}$

$t = 2$ (dia que busquem)

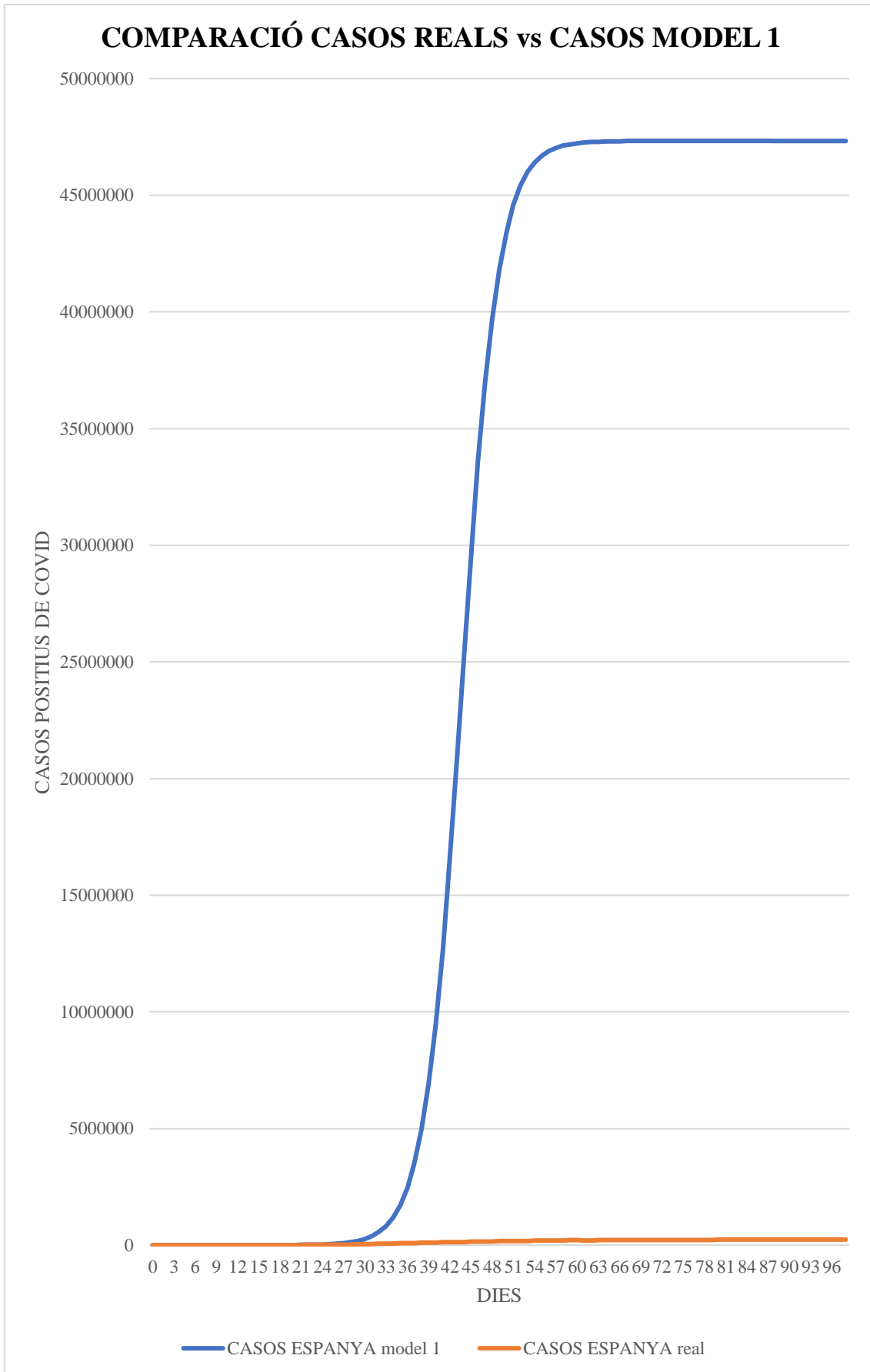
$$X(2) = \frac{47.329.981 \cdot 3}{3 + (47.329.981 - 3) \cdot e^{-5'70121078794 \cdot 10^{-9} \cdot 47.329.981 \cdot 2}} = 6,41 \simeq 6 \text{ casos positius}$$

El dia 2 (25 de febrer) a l'estat espanyol hi ha 6 casos segons el model 1.

Quadre de càlculs 1 – Càlcul dels casos del dia 2 amb el model 1

Font: Elaboració pròpia

Com veiem al quadre de càlculs, fent el càlcul a mà dona el mateix resultat que amb l'ordinador, 6. He arrodonit els casos ja que no és possible que hi hagi un nombre natural de casos.



Gràfica 7 – Comparació casos espanya reals i casos espanya model 1. Les dades van del 24 de febrer al 31 de maig de 2020.

Font: Elaboració pròpia

Tal com el professor xilè apuntava, la gràfica extreta del model 1 (gràfica 7) no correspon a l'avanç de la pandèmia (gràfica 4, de l'apartat 2.2.1), aquesta diferència es deu al fet que no es té en compte el confinament de la població, la gent exposada ni la recuperada, tampoc es preveu una evolució en la k , és a dir, l'evolució de l'infectabilitat de la malaltia. La diferència és molt gran, però del dia 0 al 22, la diferència no és considerable, després va augmentant fins a ser de 47.329.980 casos el 31 de maig. Aquest número correspon a la població espanyola, de manera que el model 1 tendeix cap a N , de manera que tota la població s'infecta. Escrit matemàticament,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X(t) = \frac{N \cdot X_0}{X_0 + (N - X_0) \cdot e^{-k \cdot N \cdot t}} = N$$

Un altre motiu que justifica la gràfica del model 1, és que quan la X , el número de persones infectades, s'aproxima molt a N , aquell terme $X - N$, queda $N - N$ que és 0. I per tant et diu que la derivada, la velocitat amb que puja la malaltia, no augmenta perquè ja s'ha saturat tot. Per això la funció es manté constant a partir del dia 60.

Després de veure aquestes discrepàncies, podem assegurar que no és un bon model per preveure què passarà, ja que només és vàlid els primers dies.

4.2 MODEL 2

Amb l'equació que obtinguda del model 2: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot \left(\left(1 - \frac{C_{max}}{1+a \cdot e^{bt}} \right) N - X \right)$, substitueixo les dades conegudes i queda una incògnita, la qual serà el nombre de casos infectats al dia següent.

Hi ha dues dades, la a i la b dins del càlcul de la $C(t) = \frac{C_{max}}{1+a \cdot e^{bt}}$, que es basen en el confinament que hi ha al país. Aquestes dues dades s'han de suposar en funció de les mesures que prengui el govern i del cas que hi faci la població. A continuació, calcularem aquesta a i aquesta b , tenint en compte unes suposicions inicials: a l'inici tan sols un 1% està confinat, llavors al dia 25 un 50% està confinat i el confinament màxim és del 90%.

Càlcul de (a i b) de la fórmula $C(t)$

$$C(t) = \frac{C_{max}}{1 + a \cdot e^{bt}}$$

Suposem que:

- Al dia 0, el confinament és de un 1%. $C(0) = 0,01$
- Al dia 25, el confinament és del 50%. $C(25) = 0,5$
- El confinament màxim és de 90%. $C_{max} = 0,9$

$$C(t) = \frac{0,9}{1+a \cdot e^{bt}}$$

No sabem que és a ni què és b , per això resollem un sistema d'equacions amb dues incògnites (a i b).

$$C(0) = \frac{0,9}{1+a \cdot e^{bt}} = \frac{0,9}{1+a} \qquad C(25) = \frac{0,9}{1+a \cdot e^{b \cdot 25}}$$

$$\begin{cases} \frac{1}{100} = \frac{0,9}{1+a} \\ \frac{50}{100} = \frac{0,9}{1+a \cdot e^{b \cdot 25}} \end{cases}$$

Veiem que la a la podem calcular amb la primera equació:

$$\frac{1}{100} = \frac{0,9}{1+a}$$

$$1 + a = 0,9 \cdot 100$$

$$a = 90 - 1 = 89$$

Un cop sabem que a és 89, podem trobar quant és b amb la segona equació:

$$\frac{50}{100} = \frac{0,9}{1+a \cdot e^{b \cdot 25}}$$

$$50 \cdot (1 + 89 \cdot e^{b \cdot 25}) = 0,9 \cdot 100$$

$$50 + 4450e^{b \cdot 25} = 90$$

$$4450e^{b \cdot 25} = 40$$

$$e^{b \cdot 25} = \frac{40}{4450}$$

$$\ln e^{b \cdot 25} = \ln \frac{4}{445}$$

$$25b \cdot \ln e = \ln \frac{4}{445}$$

$$25b \cdot 1 = \ln \frac{4}{445}$$

$$b = \frac{\ln \frac{4}{445}}{25} \approx -0,188471196841854$$

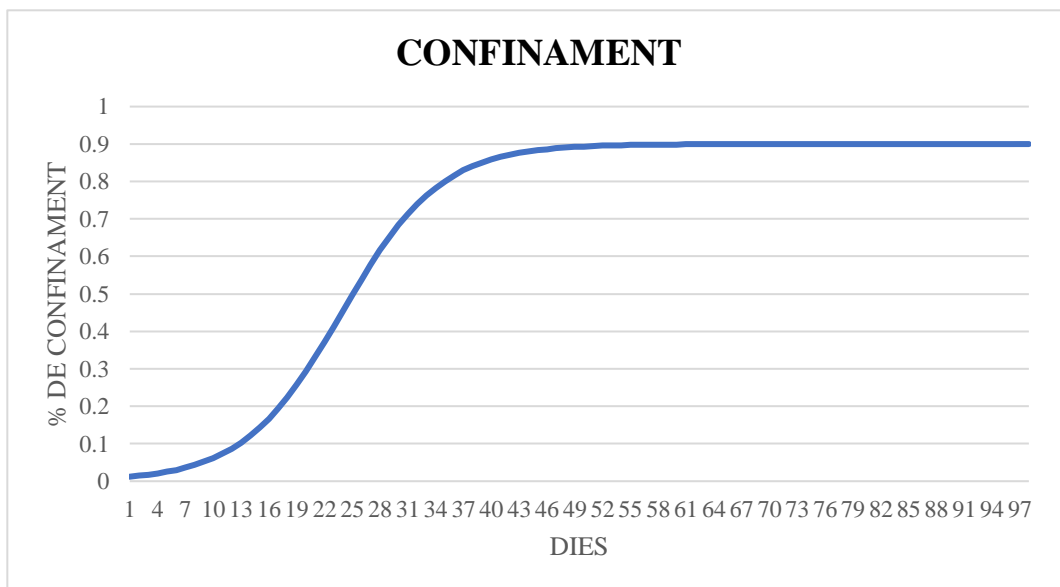
De manera que la fórmula de C(t) correspon a: $C(t) = \frac{0,9}{1+89 \cdot e^{-0,188t}}$.

Quadre de càlculs 2 – Càlcul de les incògnites a i b de la fórmula C(t).

Font: Elaboració pròpia

A partir dels càlculs del quadre 2, podem dibuixar una gràfica per veure com va ser el confinament al país espanyol des del dia 0 de la pandèmia, 24 de febrer de 2020, al dia 98, 31 de maig de 2020, segons les suposicions esmentades anteriorment.

Com veiem, i podem contrastar-ho matemàticament, el confinament inicial és gairebé insignificant, però amb l’avanç dels dies més gent es confina, cosa que permet que el confinament màxim sigui d’un 90%.



Gràfica 8 – Confinament a Espanya a partir de la fórmula de C(t), en funció del quadre de càlculs 2. Des del dia 24 de febrer al 31 de maig de 2020.

Font: Elaboració pròpia

Per realitzar les gràfiques següents, gràfiques comparatives del model 2 i dels casos reals d'Espanya, he usat el programa matemàtic *Mathematica*¹.

En primer lloc, he buscat informació sobre les dues funcions que utilitzaré, que són: *NDSolve* i *Plot*. A continuació, definim la k trobada anteriorment (k), el nombre d'habitants a Espanya (*NEspanya*), introduïm els valors de a i b trobats en cada cas seguint el quadre de càlculs 2, el valor del confinament màxim (c_{max}) i també el valor del nombre e .

Seguidament, usem la fórmula que ens dona el percentatge de persones confinades en tant per u en funció del temps:

$$C(t) = \frac{C_{max}}{1 + a \cdot e^{bt}}$$

Un cop usada aquesta fórmula, el programa guarda cadascun dels valors del confinament. Ara utilitzem la funció *NDSolve*, que serveix per integrar numèricament. És necessari usar aquesta funció, ja que $\frac{dX}{dt} = X'(t) = k \cdot X \cdot ((1 - C(t))N - X)$, depèn de més d'una variable, en concret dues: $X(t)$ i t . A més a més, introduïm el valor de $X(19)$ i li donem l'ordre d'avaluar aquesta funció *NDSolve* de $t = 0$ fins a $t = 98$.

El programa guarda cadascun dels valors obtinguts i els mostra en una gràfica gràcies a la funció *Plot*, que dibuixa també des de $t = 0$ fins a $t = 98$.

¹ El procés que es mostra a continuació ha estat elaborat conjuntament amb el professor Salomón Rebolledo-Perdomo.

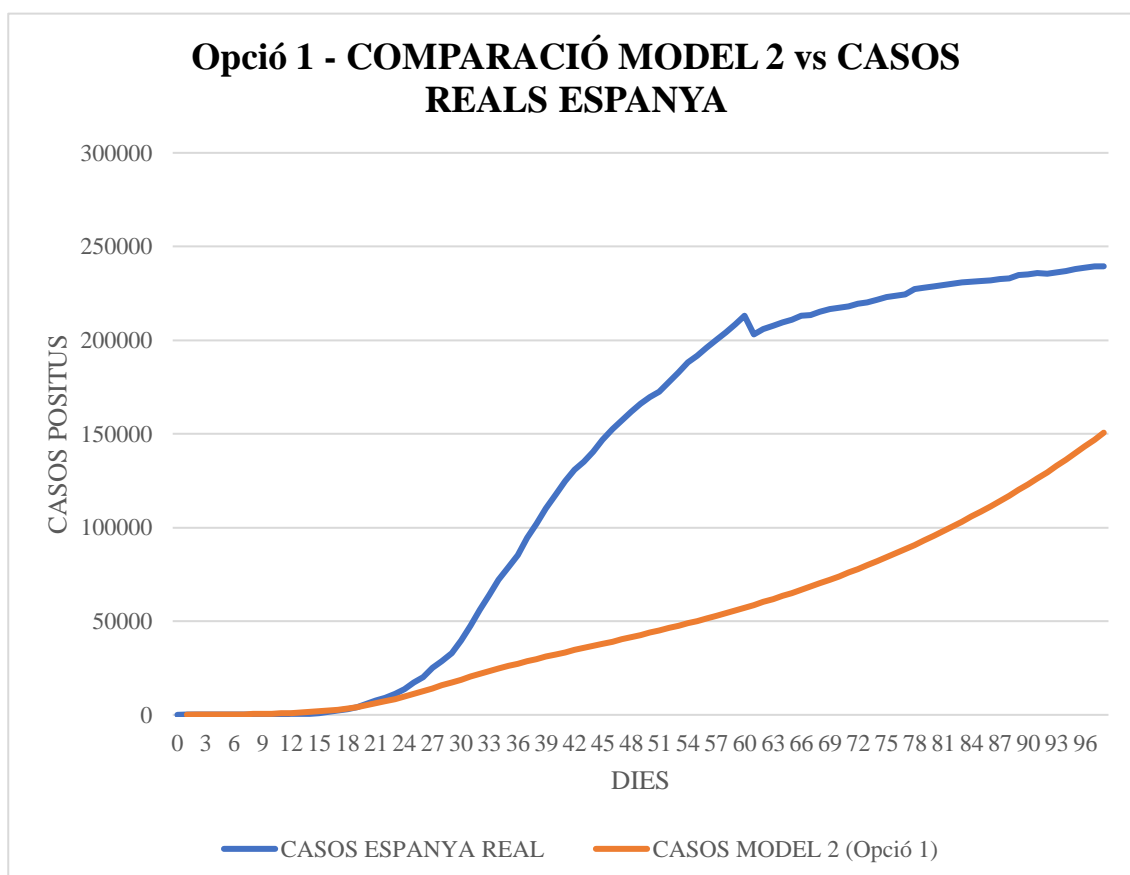
4.2.1 OPCIO 1

Per realitzar la gràfica 9, considerem les dades del quadre de càlculs 2; un confinament màxim de 0'9, un confinament del dia 0 del 0'01 i un confinament del dia 25 del 0'5, on tots els valors estan expressats en tant per u. El confinament en funció de t ve donat per l'expressió:

$$C(t) = \frac{0,9}{1+89 \cdot e^{-0'188t}}$$

Tal com podem veure, aquesta gràfica només ens seria útil durant els primers dies, ja que només coincideixen els casos a l'inici, a partir del dia 20 la diferència ja va augmentant fins a ser de quasi 90.000 casos positius l'últim dia de recompte, el 31 de maig.

Aquesta gràfica, ha estat elaborada juntament amb el professor Salomón, per aquest motiu s'inclou al treball tenint en compte que els resultats no són aproximats en cap cas. Les properes gràfiques, la 10, l'11 i la 12 estan elaborades basant-me en aquesta però amb la intenció de millorar les diferències injustificables que es presenten.



Gràfica 9 – Comparació de la opció 1 dels casos del model 2 i casos reals a Espanya. Del dia 24 de febrer al 31 de maig.

Font: Elaboració pròpia

Un cop hem vist el resultat de la gràfica, cal saber com s'ha aconseguit. Per això, s'adjunta el programa de *Mathematica* que ha permès arribar a aquests resultats.

```

WOLFRAM MATHEMATICA | STUDENT EDITION

? NDSolve
Symbol
NDSolve[eqns, u, {x, x_min, x_max}] finds a numerical solution to the ordinary differential equations eqns for the function u with the independent variable x in the range x_min to x_max.
NDSolve[eqns, u, {x, x_min, x_max}, {y, y_min, y_max}] solves the partial differential equations eqns over a rectangular region.
NDSolve[eqns, u, {x, y} ∈ Ω] solves the partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, u, {t, t_min, t_max}, {x, y} ∈ Ω] solves the time-dependent partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, {u1, u2, ...}] solves for the functions ui.

? Plot
Symbol
Plot[f, {x, x_min, x_max}] generates a plot of f as a function of x from x_min to x_max.
Plot[{f1, f2, ...}, {x, x_min, x_max}] plots several functions fi.
Plot[{{...}, w[f1, ...]}, ...] plots fi with features defined by the symbolic wrapper w.
Plot[{{...}, {x} ∈ reg] takes the variable x to be in the geometric region reg.

k = 0.00000000570121078794
5.70121 × 10-9

NEspanya = 45 650 645
45 650 645

a = 89
89

b = -0.18847119684185398291731416975
-0.1884711968418539829173141698

cmax = 0.9
0.9

e = 2.71828182845904523536028747135266249775724
2.7182818284590452353602874713526624977572

ct = cmax / (1 + a * e ^ (b * t))
0.9
1 + 89 * 2.7182818284590452353602874713526624977572 ^ (-0.1884711968418539829173141698 t)

resultat = NDSolve[{X'[t] == k * X[t] ((1 - ct) NEspanya - X[t]), X[19] == 4209}, X, {t, 0, 98}]

{{X → InterpolatingFunction[ Domain: {{0., 98.}} Output: scalar ]}}

Plot[Evaluate[X[t] /. resultat], {t, 0, 98}, PlotRange → All]
    
```

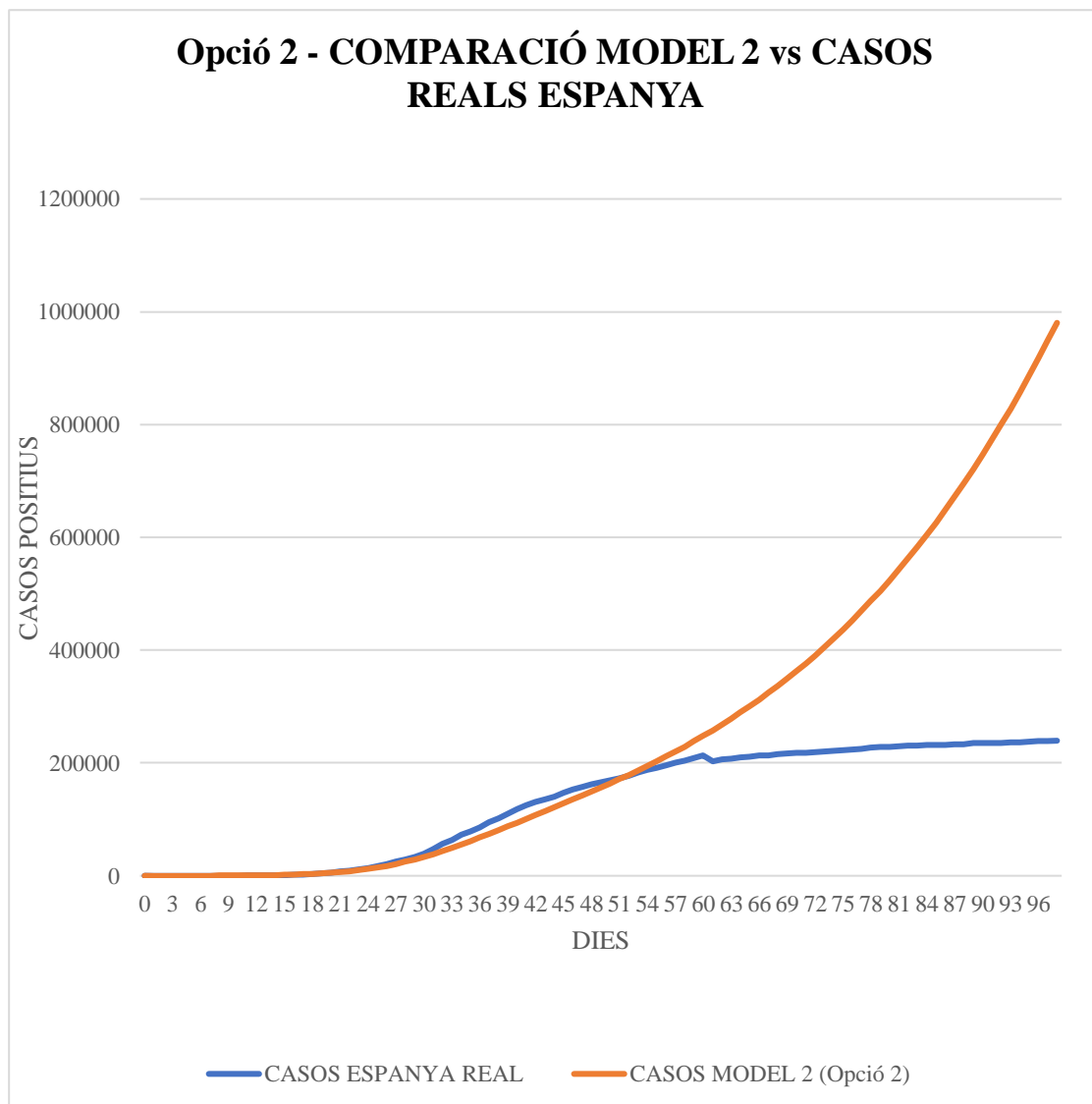
Imatge 28 – Programa Mathematica per realitzar el model 2 (Opció 1)

Font: Elaboració pròpia

4.2.2 OPCIO 2

La gràfica 10 es basa en la suposició de què al dia 0, el confinament és 0'007, el dia 33 el confinament és de 0'55 i el confinament màxim és de 0,85. El resultat és una gràfica que s'aproxima força a la realitat del dia 0 al dia 53, 16 d'abril. A partir d'aquest dia, la diferència va augmentant progressivament fins a ser de més de 700.000 casos positius a dia 31 de maig, la gràfica del model 2 dona 980.380 i la gràfica dels casos reals basada en el Ministeri de Sanitat dona 239.429 casos.

Per tant, podem afirmar que és un bon model, però només pels 50 primers dies. Probablement, si afegíssim alguna altra variable, com la població recuperada, o alguna altra funció, seria més exacta i la diferència no seria tant abismal.



Gràfica 10 – Comparació de la opció 2 dels casos del model 2 i casos reals a Espanya. Del dia 24 de febrer al 31 de maig.

Font: Elaboració pròpia

Seguidament, trobem la programació de *Mathematica* utilitzada per aquesta gràfica 10. Aquesta té una part idèntica amb totes les opcions, i una variable, que és el que modificarà la corba de la gràfica.

```

WOLFRAM MATHEMATICA | STUDENT EDITION

? NDSolve
Symbol
NDSolve[eqns, u, {x, x_min, x_max}] finds a numerical solution to the ordinary differential equations eqns for the function u with the independent variable x in the range x_min to x_max.
NDSolve[eqns, u, {x, x_min, x_max}, {y, y_min, y_max}] solves the partial differential equations eqns over a rectangular region.
NDSolve[eqns, u, {x, y} ∈ Ω] solves the partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, u, {t, t_min, t_max}, {x, y} ∈ Ω] solves the time-dependent partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, {u1, u2, ...}] solves for the functions u_i.

? Plot
Symbol
Plot[f, {x, x_min, x_max}] generates a plot of f as a function of x from x_min to x_max.
Plot[{f1, f2, ...}, {x, x_min, x_max}] plots several functions f_i.
Plot[{...}, w[{f1, ...}], ...] plots f_i with features defined by the symbolic wrapper w.
Plot[...], {x ∈ reg} takes the variable x to be in the geometric region reg.

k = 0.00000000570121078794
5.70121 × 10-9

NEspanya = 45 650 645
45 650 645

a = 120.42857142857141639069595840
120.4285714285714163906959584

b = -0.16355129128838963303849141084
-0.1635512912883896330384914108

cmax = 0.85
0.85

e = 2.71828182845904523536028747135266249775724
2.7182818284590452353602874713526624977572

ct = cmax / (1 + a * e ^ (b * t))
0.85 / (1 + 120.4285714285714163906959584 × 2.7182818284590452353602874713526624977572-0.1635512912883896330384914108 t)

resultat = NDSolve[{X'[t] == k * X[t] ((1 - ct) NEspanya - X[t]), X[19] == 4209}, X, {t, 0, 100}]

{{X → InterpolatingFunction[ Domain: {{0., 100.}} Output: scalar]}}}

Plot[Evaluate[X[t] /. resultat], {t, 0, 100}, PlotRange → All]
    
```

Imatge 29 – Programa Mathematica per realitzar el model 2 (Opció 2)

Font: Elaboració pròpia

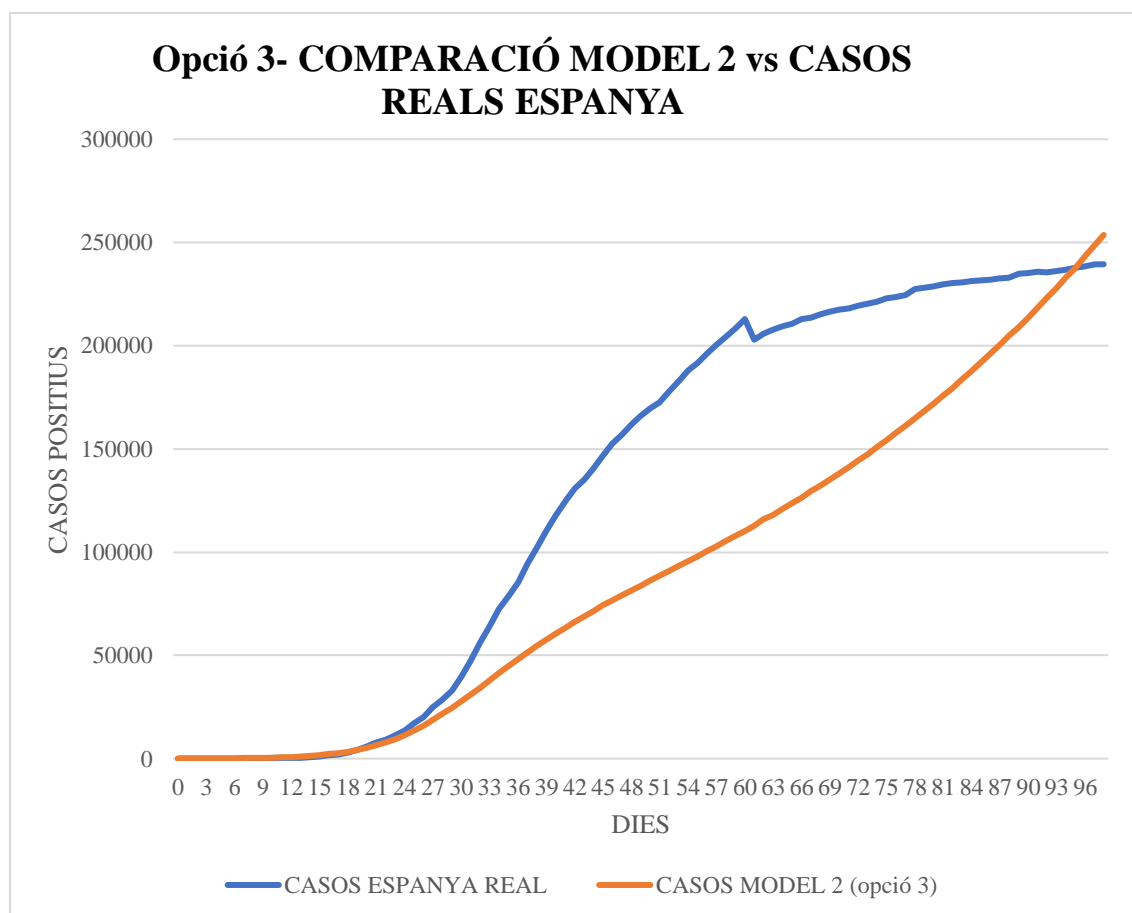
4.2.3 OPCIO 3

La tercera opció, la onzena gràfica del treball, consisteix en una modificació de les incògnites del model 2. En aquest suposo que el confinament al dia 0 és de 0'00775, el confinament del dia 33 és de 0'65 i el confinament màxim és de 0'9125.

Amb aquesta opció del model 2, es pot veure que hi ha una diferència de casos entre els dies 24 i 90, respecte les dades reals del Ministeri de Sanitat. Abans i després d'aquest interval, els casos eren molt aproximats.

Per tant, amb aquesta gràfica podem veure que partint d'unes dades inicials, podem arribar a calcular el nombre de casos al cap de 100 dies.

Tanmateix, durant aquests dies, els casos reals i els del model estan força diferenciats. El causant d'aquesta diferència és el fet de que la k no es modifiqui i es prengui com un valor constant, però realment no és així, ja que estudia com avança la pandèmia i aquest avanç no és mai igual. Inicialment, els casos diaris augmentaven significativament i a partir del dia 60, l'augment va anar disminuint.



Gràfica 11 – Comparació de la opció 3 dels casos del model 2 i casos reals a Espanya. Del dia 24 de febrer al 31 de maig.

Font: Elaboració pròpia

Per elaborar la gràfica, tal com hem comentat a l'inici de l'explicació d'aquest model 2, usem el programa *Mathematica*. A continuació trobem la programació necessària per aconseguir la gràfica 11:

```

WOLFRAM MATHEMATICA | STUDENT EDITION

?NDSolve
Symbol
NDSolve[eqns, u, {x, xmin, xmax}] finds a numerical solution to the ordinary differential equations eqns for the function u with the independent variable x in the range xmin to xmax.
NDSolve[eqns, u, {x, xmin, xmax}, {y, ymin, ymax}] solves the partial differential equations eqns over a rectangular region.
NDSolve[eqns, u, {x, y} ∈ Ω] solves the partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, u, {t, tmin, tmax}, {x, y} ∈ Ω] solves the time-dependent partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, {u1, u2, ...}] solves for the functions uj.

?Plot
Symbol
Plot[f, {x, xmin, xmax}] generates a plot of f as a function of x from xmin to xmax.
Plot[{f1, f2, ...}, {x, xmin, xmax}] plots several functions fi.
Plot[{..., w[f1, ...], ...}] plots fi with features defined by the symbolic wrapper w.
Plot[... {x} ∈ reg] takes the variable x to be in the geometric region reg.

k = 0.0000000570121078794
5.70121 × 10-9

NEspanya = 45 650 645
45 650 645

a = 116.74193548387096086571546039
116.7419354838709608657154604


b = -0.17171779090716970950225572778
-0.1717177909071697095022557278

cmax = 0.9125
0.9125

e = 2.71828182845904523536028747135266249775724
2.7182818284590452353602874713526624977572

ct = cmax / (1 + a * e ^ (b * t))
0.9125
1 + 116.7419354838709608657154604 × 2.7182818284590452353602874713526624977572-0.1717177909071697095022557278 t

resultat = NDSolve[{X'[t] == k * X[t] ((1 - ct) NEspanya - X[t]), X[19] = 4209}, X, {t, 0, 98}]

{{X → InterpolatingFunction[ Domain: {{0., 98.}} Output: scalar ]}}

Plot[Evaluate[X[t] /. resultat], {t, 0, 98}, PlotRange → All]
    
```

Imatge 30 – Programa Mathematica per realitzar el model 2 (Opció 3)

Font: Elaboració pròpia

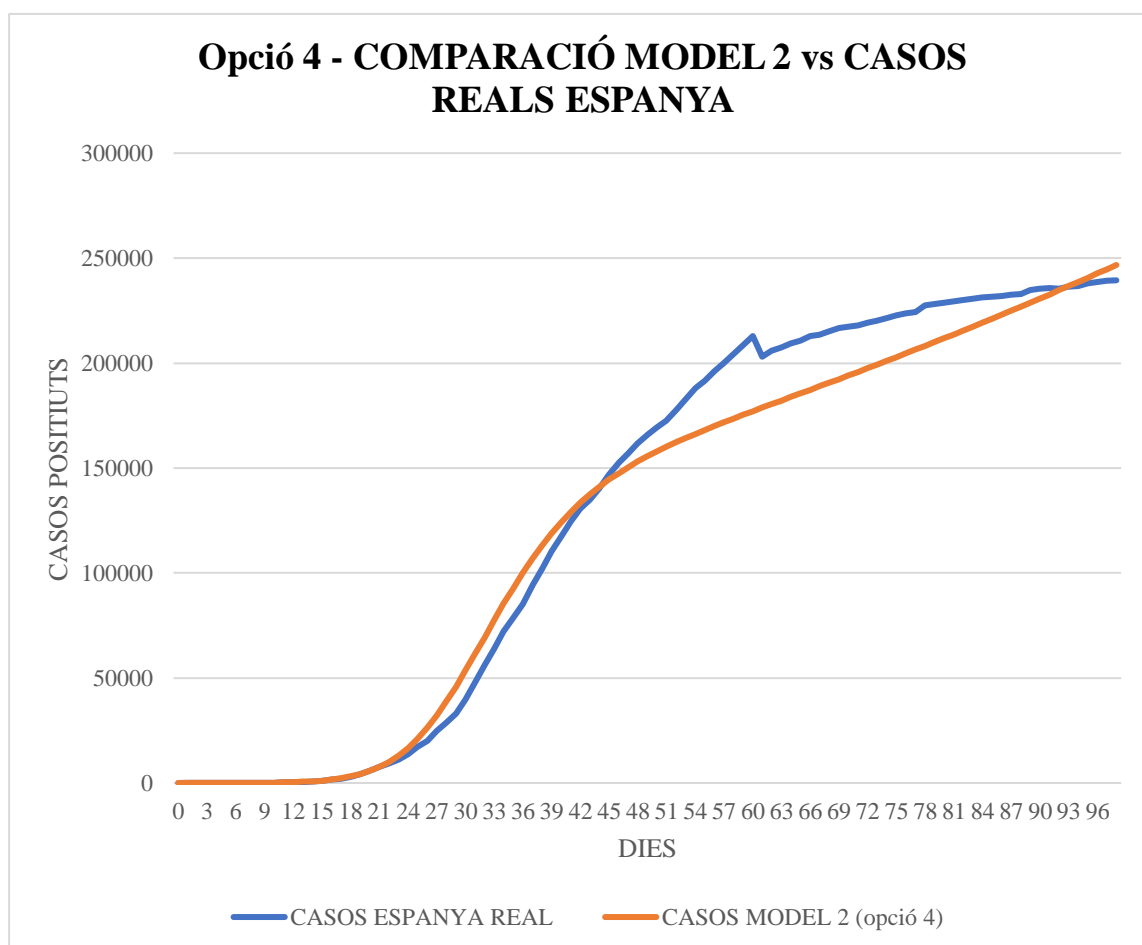
4.2.4 OPCIO 4

La última opció del model 2, consisteix en la gràfica més ajustada, més aproximada a la realitat. I és fruit d'anar estudiant com evoluciona la pandèmia i de com reacciona el model a l'avanç.

Les suposicions inicials són: un confinament del dia 0 de 0'006125, un confinament del dia 33 de 0'717575 i un confinament màxim de 0'971855, per tant quasi tota la població és confina.

Aquesta gràfica, és la més exacta. La major part del temps, la gràfica coincideix amb els casos reals, i en el moment en que aquests es diferencien, la desigualtat arriba a ser de 25.000 casos. Malgrat que sembli una diferència molt gran, tenint en compte de la gran quantitat de casos, no és significativa.

Podem concloure que a partir de les dades dels 14 primers dies, iniciant el recompte el 24 de febrer, podem elaborar la gràfica que ens permetrà saber quants casos hi ha al cap de 98 dies i per tant saber l'evolució, quasi exacta, de la pandèmia a Espanya.



Gràfica 12 – Comparació de la opció 4 dels casos del model 2 i casos reals a Espanya. Del dia 24 de febrer al 31 de maig.

Font: Elaboració pròpia

Tal com hem vist en les anteriors gràfiques comparatives, adjunto el codi del programador *Mathematica*.

```

WOLFRAM MATHEMATICA | STUDENT EDITION

?NDSolve
Symbol
NDSolve[eqns, u, {x, xmin, xmax}] finds a numerical solution to the ordinary differential equations eqns for the function u with the independent variable x in the range xmin to xmax.
NDSolve[eqns, u, {x, xmin, xmax}, {y, ymin, ymax}] solves the partial differential equations eqns over a rectangular region.
NDSolve[eqns, u, {x, y} ∈ Ω] solves the partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, u, {t, tmin, tmax}, {x, y} ∈ Ω] solves the time-dependent partial differential equations eqns over the region Ω.
NDSolve[eqns, {u1, u2, ...}] solves for the functions uj.

?Plot
Symbol
Plot[f, {x, xmin, xmax}] generates a plot of f as a function of x from xmin to xmax.
Plot[{f1, f2, ...}, {x, xmin, xmax}] plots several functions fj.
Plot[{w[f1], w[f2], ...}, {x, xmin, xmax}] plots fj with features defined by the symbolic wrapper w.
Plot[... , {x} ∈ reg] takes the variable x to be in the geometric region reg.

k = 8.02166068376255542124875496127687 * 10 ^ (-09)
8.0216606837625554212487549612769 × 10-9

NEspanya = 45 650 645
45 650 645

a = 157.67020408163264733047981281
157.6702040816326473304798128

b = -0.18478627228264596360496341276
-0.1847862722826459636049634128

cmax = 0.971855
0.971855

e = 2.71828182845904523536028747135266249775724
2.7182818284590452353602874713526624977572

ct = cmax / (1 + a * e ^ (b * t))
0.971855
1 + 157.6702040816326473304798128 × 2.7182818284590452353602874713526624977572-0.1847862722826459636049634128 t

resultat = NDSolve[{X'[t] == k * X[t] ((1 - ct) NEspanya - X[t]), X[19] = 4209}, X, {t, 0, 98}]

{{X → InterpolatingFunction[ Domain: {{0., 98.}} Output: scalar ]}}

Plot[Evaluate[X[t] /. resultat], {t, 90, 98}, PlotRange → All]
    
```

Imatge 31 – Programa Mathematica per realitzar el model 2 (Opció 4)

Font: Elaboració pròpia

CONCLUSIÓ

En primer lloc, del treball puc arribar a la conclusió de què les matemàtiques i la medicina tenen una estreta relació, i que ambdues es faciliten el dia a dia. Gràcies a aquest vincle, he pogut realitzar la gràfica del treball i així afirmar la hipòtesi principal: amb un model matemàtic es pot crear una corba que s'aproximi molt a la realitat. Tal com hem pogut veure, la realització de la corba és possible, i encara seria més fidedigna, fins a calcar la realitat, si els meus coneixements tan matemàtics, biològics i informàtics fossin més elevats, ja que es podria arribar a representar la població confinada, la població recuperada, la població asimptomàtica i l'avanç de la malaltia, entre altres variables que amb el model del professor Salomón Rebollo-Perdomo no s'han pogut estudiar.

Per altra banda, les matemàtiques poden preveure una pandèmia, la poden estudiar detalladament i així extreure conclusions que seran del tot beneficioses per a la població. Aquestes conclusions serien, per exemple, quan s'ha de confinar la societat, quanta gent s'ha de vacunar, a quin nombre de persones s'ha de limitar les trobades, entre d'altres. Igual que a la hipòtesi anterior, els coneixements més tècnics seran essencials per fer previsions més exactes.

Finalment, aquest treball també m'ha permès veure més l'encant d'aquesta ciència i la passió que tinc per ella, fent-me encarar molt probablement cap aquí la meua carrera professional. A més a més, no descarto, si tinc l'oportunitat, seguir amb aquest estudi i millorar la gràfica per tal que quedi el més coincident possible amb la realitat.

BIBLIOGRAFIA

TORRES, MARIA DOLORS; ARGÜELLO, HELENA; ESTELLER, ALEJANDRO; FERNÁNDEZ, MIQUEL ÀNGELO; LABRADOR, EMÍLIA; MARTÍNEZ, EUSTOQUIO; OLAZÁBAL, MANUEL; REGUEIRO, JOSÉ RAMÓN; SANTOS, ALEJANDRO; VILLENA, ALEJANDRO. *Llibre de text biologia 2n de Batxillerat*. Ed. Vicens Vives, 2016.

WEBGRAFIA

ANTENA 3 NOTICIAS. *Polémica por las distintas formas de contar en cada país a los fallecidos por el coronavirus* [en línia]: <<https://tuit.cat/CM8CJ>> [Consulta: 17 d'agost].

ARA.CAT. *Casos i disparitat en els sistemes de recompte arreu del món* [en línia] <<https://tuit.cat/dqii3>> [Consulta: 2 de setembre].

BURGOS, CLARA; CARLOS, JUAN; LÓPEZ, ELENA; MARTÍNEZ, DAVID; MARTÍNEZ, JULIÁN, RAÚL; JACINTO, RAFAEL. Modelización epidemiológica del Covid-19 22/03/2020 [en línia] <<https://tuit.cat/h0kww>> [Consulta: 15 de juny].

CANAL SALUT. *Transmissió i risc de contagi* [en línia] <<https://tuit.cat/8OMPW>> [Consulta: 28 d'agost].

CENTROS PARA EL CONTROL Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES. *SRAS* [en línia] <<https://tuit.cat/w7dFe>> [Consulta: 23 de juny].

Centers for Disease Control and Prevention. Interpretation of Forecasts of New Cases [en línia] <<https://tuit.cat/uLb74>> [Consulta: 10 de setembre].

EL MUNDO. *China cambia el método para contabilizar los casos de coronavirus COVID-19 y el número de víctimas se dispara* [en línia] <<https://tuit.cat/aLIC1>> [Consulta: 17 d'agost].

EL VALLENC. *Cronologia: Tres mesos de coronavirus a Catalunya* [en línia] <<https://tuit.cat/95744>> [Consulta: 29 de juliol].

GALINDO, SALVADOR; RODRÍGUEZ, MARIO ALBERTO; CERVANTES, JORGE LUIS. *Las matemáticas de las epidemias: caso México 2009 y otros* [en línia] <<https://tuit.cat/7vb1h>> [Consulta: 17 de juny].

GÓMEZ, NÚRIA; MARTÍNEZ, ORIOL. *Les principals epidèmies de la història* [en línia] <<https://tuit.cat/eypO1>> [Consulta: 8 de juliol].

J. GRAHAM, BETTIE. *Virus* [En línia]. <<https://tuit.cat/HIpFp>> [Consulta: 14 de juny].

KHAN ACADEMY. Método de Euler (vídeo) [En línia]. <<https://tuit.cat/HXj74>> [Consulta: 5 d'agost].

LÓPEZ, ELENA. *Acción Matemática considera probable un rebrote del coronavirus* [en línia] <<https://tuit.cat/l5yBY>> [Consulta: 22 de juny].

LÓPEZ, GONZALO. *Los tres métodos matemáticos que están salvando vidas frente al coronavirus* [en línia]. <<https://tuit.cat/u9av0>> [Consulta: 22 de juny].

MATHEMATICA. Woldram delivers computation [en línia] <<https://tuit.cat/eSpbb>> [Consulta diària]

MEGÍA, RUBÉN. *Virus I: historia y tipos de virus* [en línia]. <<https://tuit.cat/9etZu>> [Consulta: 14 de juny].

MILLAN, FRANCESC. *Crònica d'una pandèmia que ha aturat el món* [en línia] <<https://tuit.cat/puP8k>> [Consulta: 28 de juliol].

MINISTERIO DE SANIDAD. *Interpretación de las pruebas diagnósticas frente a SARS-CoV-2* [en línia]. <<https://tuit.cat/xLr8h>> [Consulta: 28 d'agost].

MINISTERIO DE SANIDAD. *Situación actual* [en línia] <<https://tuit.cat/966Eu>> [Consulta diària].

MOLTENI, MEGAN. *The Mathematics of Predicting the Course of the Coronavirus* [en línia]. <<https://tuit.cat/96AwM>> [Consulta: 23 de juny].

MORA, XAVIER. *El nombre de reproducció de la COVID-19 i el model SIR. L'efecte dels retards de la comptabilització* [en línia] <<https://tuit.cat/kx7vf>> [Consulta: 16 de juny].

MORRIS, CHRIS; REUBEN, ANTHONY. *Coronavirus: ¿por qué son difíciles las comparaciones de datos entre países?* [En línia] <<https://tuit.cat/Vqc3l>> [Consulta: 17 d'agost].

OKDIARIO. *Casos de coronavirus: cada país los cuenta de una forma distinta* [en línia]. <<https://tuit.cat/nyVkW>> [Consulta: 17 d'agost].

ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. *Alert, verification and public health management of SARS in the post-outbreak period* [en línia]. <<https://tuit.cat/wu0Ds>> [Consulta: 21 de juny].

ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. *Coronavirus causante del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV)* [en línia]. <<http://scur.cat/59EDP4>> [Consulta: 22 de juny].

ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. *Coronavirus disease (COVID-19) Weekly Epidemiological Update and Weekly Operational Update* [en línia] <<https://tuit.cat/xIb00>> [Consulta diària].

ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)* [en línia] <<https://tuit.cat/HhRbq>> [Consulta: 4 de juliol].

QUIRÓN SALUD. *Pruebas para la detección del Coronavirus COVID-19* [en línia] <<https://tuit.cat/aO8m0>> [Consulta: 23 d'agost].

REBOLLO-PERDOMO, SALOMÓN. *Un modelo simple para el número de infectados por Covid-19* [en línia] <<https://tuit.cat/fziOr>> [Consulta: 16 de juny].

REDACCIÓ CONSALUD. *Coronavirus y fallecidos: la polémica de los distintos sistemas de contabilización entre países* [en línia] <<https://tuit.cat/3l1dC>> [Consulta: 17 d'agost].

REDACCIÓ VILAWEB. *Els casos reals de Covid-19 a l'estat espanyol poden ser més de 2,5 milions, segons un informe* [en línia]. <<https://tuit.cat/R9dSP>> [Consulta: 17 d'agost].

RIERA, MATEU. *Vocabulari del coronavirus* [en línia] <<http://scur.cat/G808LH>> [Consulta: 17 de juny].

SEMPERE, MARCO ANTONIO. *Técnicas para un diagnóstico certero y precoz de COVID-19* [en línia] <<https://tuit.cat/4GeD4>> [Consulta: 3 d'agost].

TESINI, BRENDA. *Coronavirus y síndromes respiratorios agudos (COVID-19, MERS y SARS)* [en línia]. <<http://scur.cat/3MBFCL>> [Consulta: 30 de juny].

TORTAJADA, TONI. *Petita història de les pandèmies* [En línia] <<https://tuit.cat/0WPR4>> [Consulta: 11 de juliol].

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. COVID-19: algunas gráficas para entender lo que está pasando [en línia] <<https://tuit.cat/ZDaff>> [Consulta: 15 de juny].

VAQUÉ, J. *Síndrome respiratorio agudo grave (SARS)* [En línia]. <<https://tuit.cat/Y213C>> [Consulta: 15 de juny].

WALLACE, ARTURO. *Cómo fueron controladas las epidemias de SARS y MERS, otros coronavirus para los que no hay vacuna* [en línia]. <<https://tuit.cat/acI3l>> [Consulta: 22 de juny].

ZHONG, NANSHAN; ZHENG, BOJIAN; LI, YIMIN; POON, LEO; CHAN, KWOK-HUNG; LI, PINGHUNG; TAN, SHOUYOUNG; CHANG, QING; XIE, JIANPING; LIU, XIAOQUING; LI, DEXIN; YUEN, KWOK; PEIRIS, JOSEPH; GUAN, YI. *Epidemiology and cause of severe acute respiratory syndrome (SARS) in Guangdong, People's Republic of China, in February 2003*. <<https://tuit.cat/WPad6>> [Consulta: 15 de juny].

ANNEXOS

ANNEX 1

GLOSSARI

ACEL·LULAR: Que no té cèl·lules.

ÀCID NUCLEIC: Macromolècules encarregades d'emmagatzemar i de transferir la informació genètica de les cèl·lules. Aquests àcids nucleics poden ser ADN o ARN i contenen un glúcid, un grup fosfat i una base nitrogenada, que variarà igual que el glúcid en funció del tipus d'àcid.

ADN: Àcid desoxiribonucleic, és el material genètic de tots els organismes. Aquesta molècula helicoidal està formada per dues cadenes de nucleòtids unides entre elles i col·locades de forma antiparal·lela. Aquest àcid nucleic té com a sucre una desoxiribosa i com a bases nitrogenades l'adenina, la timina, la guanina i la citocina.

AEROSOLS: Suspensió de molècules d'un sòlid o líquid en l'aire.

AGENT PATÒGEN: Microorganismes i virus causants de malalties infeccioses.

ANTICÒS: Proteïna produïda pels limfòcits, present en la seva superfície cel·lular o dispersa en el plasma sanguini, i que reacciona contra les substàncies estranyes que han estimulat la seva producció.

ARN MISSATGER (ARN_m): Tipus d'ARN monocatenari que transporta la informació genètica transcrita de l'ADN fins als ribosomes.

ARN: Àcid ribonucleic, format per una cadena senzilla. És similar a l'ADN però el sucre és ribosa i conté les bases nitrogenades d'adenina, uracil, guanina o citocina.

ARRODONIR: Aproximar un nombre decimal descartant els dígits a partir d'un cert lloc.

ASIMPTOMÀTIC: Pacient infectat per la malaltia que no presenta cap símptoma.

BACTERI: Microorganisme unicel·lular procariota que pot reproduir-se sense envair altres cèl·lules.

CÀLCUL INTEGRAL: Consisteix en integrar equacions.

CÀPSIDA: Coberta proteica que protegeix l'àcid nucleic d'un virus. Està formada per diverses unitats estructurals, anomenades capsòmers.

CAPSÒMER: Cadascuna de les unitats proteiques que formen la càpsida.

CÀRREGA VIRAL O VÍRICA: Quantitat d'unitats víriques per mil·límetre cúbic que presenta un fluid orgànic.

CÈL·LULA HOSTE: Cèl·lula capaç de sustentar el creixement d'un paràsit.

CÈL·LULA: Unitat estructural i funcional dels éssers vius.

CONFINAMENT: Acció de romandre tancat dins un espai limitat.

CORONAVIRUS: Àmplia família de virus que poden causar diverses malalties, aquests afecten generalment els animals, però alguns cops, com la Covid-19, afecten persones.

DESCONFINAMENT: Acció de desconfinar-se. Es permet, de forma limitada, els desplaçaments o les sortides.

EMBOLCALL LIPOPROTEIC: Recobriment cel·lular que conté lipoproteïnes.

ENZIM: Substància, generalment proteica, produïda per les cèl·lules vives que és capaç d'accelerar reaccions químiques específiques.

EPIDEMIOLOGIA: Branca de la medicina que estudia les epidèmies.

GENOMA VÍRIC: Contingut total del material hereditari propi del virus

HISOP: Bastonet estèril amb el qual s'obté la mostra.

IGG: Aquest anticòs es produeix en una etapa posterior a la infecció i proporcionen immunitat per la següent infecció.

IGM: És el primer anticòs que apareix com a resposta per combatre una infecció.

IMMUNITAT ARTIFICIAL: Tipus d'immunitat que es pot adquirir introduint en el cos patògens sencers o part d'ells, que han perdut la seva capacitat de provocar la infecció, però mantenen la capacitat d'estimular la resposta del sistema immunitari.

IMMUNITAT COL·LECTIVA: Immunitat específica d'un nombre prou gran de persones d'una comunitat que disminueix el risc de contagi entre les persones susceptibles i per tant la malaltia no es propaga.

IMMUNITAT: Procés pel qual un organisme es fa resistent a una malaltia, especialment infecciosa.

INTEGRAR NUMÈRICAMENT: Consisteix en una família d'algoritmes per a calcular el valor numèric d'una integral definida.

MALALTIA ZOONÒTICA: Malaltia que es transmet de manera natural dels animals als humans i de l'espècie humana als animals.

MODEL LOGÍSTIC: Model matemàtic que apareix en diversos models de creixement de població o de propagació de malalties. Aquest consisteix en una millora del model exponencial pel creixement d'una magnitud.

MUTACIÓ: Modificacions sobtades en el material genètic que comporten canvis als gens.

NOMBRE NATURAL: Qualsevol nombre que es pot usar per a comptar els elements d'un conjunt finit. Es representen amb la lletra N.

PANDÈMIA: Malaltia que afecta un gran nombre de persones de molts països diferents.

PANGOLINS: Mamífer de l'ordre dels folidots. Estan recoberts per escates epidèrmiques i no tenen dents.

PERÍODE D'INCUBACIÓ: Temps transcorregut entre l'entrada de l'agent d'una malaltia i l'aparició dels primers símptomes.

QUARANTENA: Espai de temps que ha d'estar aïllada i vigilada una persona, un animal o una cosa els quals són portadors o possibles portadors d'una malaltia contagiosa.

R₀: El nombre de reproducció bàsic, és el nombre mitjà de nous casos que dona lloc cada persona contagiada.

RINOFARINGE: Part de la faringe situada darrere les fosses nasals.

SÍMPTOMA: Fenomen anormal, funcional o sensitiu, percebut pel malalt, és indicatiu d'una malaltia.

SUSCEPTIBLE: Que té facilitat a infectar-se.

TANT PER U: Propoció d'una quantitat en relació a 1.

TEST PCR: Test que detecta si hi ha ARN del virus a la mostra observada.

VACUNA: Preparat artificial que conté microbis o virus, morts o atenuats pel calor, o components desactivats de virus. Una vegada vacunats d'una malaltia, el nostre organisme s'hi fa immune per un període de temps.

VIRIÓ: Virus que encara no ha infectat la cèl·lula. Estan compostos per un nucli i la càpsida.

VIRUS: Agents infecciosos acel·lulars formats per ADN o ARN i una coberta proteica. Aquest paràsit creix i es reproduïx en una cèl·lula hoste.

ANNEX 2

Tot seguit s'inclouen les transcripcions de les entrevistes que he dut a terme durant la realització del meu Treball de Recerca.

ENTREVISTA A SALOMÓN REBOLLO-PERDOMO

A continuació trobem una entrevista, del 25 de juny, amb el professor de la Universitat del Bío-Bío de Concepción, Salomón Rebollo-Perdomo.



Salomón Rebollo-Perdomo.

Doctor en matemàtiques i llicenciat en física i matemàtiques. És professor de la universitat del Bío-Bío de Concepción, Xile, al departament de matemàtiques.

- Bona tarda.
- Hola.
- Sóc estudiant de Batxillerat i estic fent el Treball de Recerca sobre “Les matemàtiques del coronavirus”, per realitzar-lo estic buscant molta informació i he trobat el seu article on m’han sorgit alguns dubtes.

Què significa la k ?

- Primer de tot, vas entendre una mica el model o com surt aquesta equació?
- No massa.
- El producte $X(N-X)$ és el nombre d’interaccions que hi ha entre infectats i no infectats. I el quocient és la derivada, que es pot interpretar com la velocitat que augmenta el nombre d’infectats amb l’avanç del temps. Des del punt de vista epidemiològic, la velocitat augmenta proporcionalment respecte del número d’interaccions entre infectats i no infectats, com més interaccions més velocitat.
- D’acord, així la derivada és simplement una velocitat.
- Si, aquesta velocitat la podem interpretar d’acord amb l’experiència que té l’investigador d’algun fenomen. Llavors amb l’experiència ja es pot dir com és la velocitat, creixent o decreixent.

La k representa d’alguna manera la constant d’infectabilitat de la malaltia, si hi ha molta gent que s’està infectant, llavors la k és gran; mentre que si hi ha pocs infectats, la k és petita, no s’infecten gaire. Per altra banda, en el primer model,

agafem tota la població de tot Espanya, però aquests no interactuen amb tots: Una persona que viu a Girona no interacciona amb una persona que viu a Madrid. Llavors el nombre d'interaccions és una proporció només i la k també considera aquesta mesura d'interacció entre infectats i no infectats.

- Entesos.
- Llavors, com calcular aquesta k , que és el paràmetre que realment necessitem? Aquesta era la teva pregunta inicial.

Primer de tot, hem de veure que la velocitat o raó de creixement, es pot calcular amb aquestes diferències (número d'infectats en un temps menys el número d'infectats del dia anterior, dividit pel temps), així calculem el creixement o decreixement dia a dia. Aquests quocients són una aproximació a la velocitat diària. I a l'equació inicial, ens interessa la velocitat a cada instant de temps, per tant, ara tenim una aproximació amb error.

- Entesos.
- Per altra banda, la constant k es calcula a través d'aquesta raó, que prové de la primera equació.
- Clar, passem a dividir el que multiplica la k i ens queda aquesta divisió.
- Exacte. Després, podem calcular moltes k per tantes dades oficials com hi hagi.
- Per tant, vostè no ha agafat cap llistat on hi hagi la k ?
- No, no, jo agafo les dades oficials i d'allà calculo aquesta constant.

Aquí pots veure un Excel amb les dades oficials. Però després de dies observant em va entrar molta tristesa i vaig abandonar.

Primer de tot vaig agafar el 24 de febrer, on hi havia 4 casos acumulats i a partir d'aquí augmenten els casos de forma consecutiva; el 23 de febrer no van notificar cap cas, llavors no ens interessa.

Així és més fàcil obtenir aquests valors de la velocitat, més aproximats a la realitat.

El dia 14 de març, Espanya va entrar en...

- Estat d'alarma.
- Si, estat d'alarma. I fins al 13 de març vaig calcular diàriament les velocitats mitjanes i així vaig obtenir la k . Aquest càlcul ho vaig fer cada dia i llavors vaig agafar una mitjana d'aquests valors, que és la k .
- Val, així ja hem calculat aquesta k .

- Aquests últims dies també estic fent coses d'aquí de Xile i he actualitzat una mica les dades a partir de l'experiència d'Espanya sobre l'evolució del virus.

Aquest full que et mostro és un programa per fer càlculs matemàtics, el Maple. Al principi vaig anotar diàriament els casos, però a partir del dia 54, el govern va canviar la manera de comptar i vaig deixar d'apuntar-ho.

El que vaig fer és, el dia 18 des de l'inici de contagis diaris (13 de març), utilitzo la fórmula per trobar la k i diu que el número d'infectats eren 4209.

A partir d'aquí, el que vaig fer era, introduir una mica els percentatges de confinament, també tenint en compte que el diagnòstic d'una persona infectada triga entre 10 i 14 dies. Per tant, una persona que s'infecta avui no es coneixerà que ho està fins catorze dies després.

Vaig suposar que hi havia un confinament d'un 90%, però com que no és immediat, a l'inici només hi ha un 58% de confinament a partir del dia 19 (14 de març, estat d'alarma). En aquest cas, després de catorze dies arribaran a 90% de confinament. Aquesta C , és la gràfica del confinament, diu que la gent al principi no està confinada, i després de cinquanta dies la població ja està un 90% confinada, però això només és una aproximació al fenomen diari, pot ser que el confinament no sigui tant suau com a la gràfica.

Aquesta fórmula el que farà és preveure quin serà el nombre d'infectats al cap d'uns dies, tenint en compte que el dia 13 de març hi ha 4209 casos.

- Una pregunta, que és ' nl '?
- No, és nl , que és el número d'infectats abans de l'estat d'alarma, és l'última dada oficial que tens, a partir d'aquí començaràs a preveure.
- D'acord.
- Llavors es resol l'equació 3, basada en dades reals, i vols saber la dada fins a un dia (el que tu vulguis), jo vaig calcular fins cinquanta dies després, cap a mitjans d'abril.

Amb aquesta gràfica, podem veure que els quadres són les dades oficials i les corbes depenen del confinament que tu suposes: la vermella (a partir de l'estat d'alarma hi ha un 58% confinats), la blava (a partir de l'estat d'alarma hi ha un 63% confinats) i la negra (tenim un 68% confinats). El que diu la gràfica és que com més confinament tinguis menys casos tindràs, ja que hi haurà menys interaccions i per tant menys velocitat i la corba creix més lentament.

Ara aquí ja pots jugar a modelar com és la corba del confinament (més lenta o més dràstica).

Una altra cosa és que s'ha de saber quin confinament hi havia abans de l'estat d'alarma, hi ha gent que un dia concret no surt de casa i per tant ja estan confinats.

Encara que és una dada petita pot ser significatiu a l'hora de reproduir la corba.

Jo tinc dos casos: Si suposo que un 1/1000 persones estan confinades el 24 de febrer o si suposo que hi ha 80.000 persones d'Espanya (2/1000) que no surten de casa. Per tant la corba de confinament no començarà des de zero. D'aquí no tinc informació, ho podries buscar i indicar-ho.

- D'acord, ho buscaré, però jo també crec que sigui poc.
- Ara bé, fixa't que amb les dades de catorze dies estem intentant predir els quaranta dies següents, i el model s'aproxima bastant. Després vaig intentar ajustar més el model, aquí tu també pots ajustar-lo (tant amb els percentatges de confinament inicial com el percentatge de confinament a partir de l'estat d'alarma).

Finalment vaig fer una actualització.

- Aquesta és la que hi ha al treball?
- No, aquesta és fins al dia 55, la vaig actualitzar. La corba blava és quasi idèntica a l'inicial, en aquesta suposo que el confinament inicial és de 2 de cada 1000, en aquesta, pots veure que suposo que el temps d'incubació és de tretze dies i no catorze. Alguns estudis que s'han fet a Xile, diuen que la mitjana és de 10 dies, però a Espanya potser entre 12 i 13.

Tu també aquí pots jugar a modificar les dades i així obtenir la gràfica perfecta.

- Doncs si, ja m'ho miraré.
- El nombre de confinats des de l'estat d'alarma també el vaig modificar, posant 55,8%, aquestes suposicions influeixen en la corba.

A mi el que em sorprèn d'aquest model tan senzill és que amb poques dades pots predir els quaranta dies següents.

- Ostres doncs si...
- Jo després del dia 53 no vaig continuar comparant les dades, ja que el govern va canviar la forma de comptabilitzat i llavors ja no seguia el mateix patró. Tot i això no he comprovat si el model s'hi ajusta.
- Ah, doncs ho podria mirar.
- Sí, i també podries mirar que quan la gent ja utilitza les ulleres, les mascaretes, d'alguna manera la gent està tan protegida que no es considera una interacció, i es

podria considerar com un confinat i per tant el percentatge del 90% pujaria a 95%, això està una mica allunyat de la part científica, però és lògic.

- Si, això havia pensat, ja que d'alguna forma ha de canviar, però no havia pensat considerar-los com a confinats.
- Clar, i després si el confinament augmentés, la corba de contagis diaris hauria de baixar.

Una altra cosa, com que una persona no és diagnosticada fins deu dies després de ser contagiada, encara que l'estat d'alarma entrés el 14 de març, els contagis que es compten d'entre el 15 i el 25 de març, són d'abans de l'estat d'alarma, llavors aquesta taxa de contagi també es pot veure reflectida tenint en compte aquestes dades, i per tant en lloc de calcular la k fins al dia 13 de març ho vaig fer fins al dia 23, i aquesta surt lleugerament diferent de l'anterior.

- Si després calcular la k fins el dia 23, llavors va usar les dades reals dels dies 14, 15, 16, etc, no?
- Sí, sí, totes són dades reals. Tot i això, per calcular la k no he agafat els 23 dies, sinó només dels últims 10, ja que una persona triga deu dies després que és contagiada, però ho pots fer amb els números que vulguis. I això modificarà la k , i per tant la corba.

La corba, suposant que tenim unes 80.000 persones confinades, s'acosta molt i molt a la real, però al treball vaig posar 40.000 i en aquest no s'hi aproxima tant.

- Per tant, vostè en cap moment usa la R_0 ?
- Explícitament no, aquesta taxa no, ja que jo sóc matemàtic i per això no surt en aquest model. A més a més, no sé exactament que vol dir la R_0 , però jo crec que està dins de la k .
- D'acord, miri, jo en un altre document tinc que la R_0 és el nombre mitjà de nous casos que dona lloc cada persona contagiada. Més que res que hi ha molts models que la utilitzen.
- No la utilitzo, però segur que la R_0 es troba dins la k , però no sé com. Jo la k la interpreto que mesura la taxa de contagis i la taxa de proporcionalitat d'interacció, les dues coses alhora. Per això no trobem explícita la R_0 .
- D'acord.
- No sé si tens algun altre dubte, però en qualsevol cas em tornes a enviar un correu i si cal tornem a quedar per ajudar-te.
- Moltíssimes gràcies, ha estat molt útil.

PROFESSORS DE MATEMÀTIQUES DE LA UdG I

A continuació trobem una entrevista, del 17 de juliol, amb els professors de la Universitat de Girona, Joan Saldaña i David Juher.



David Juher Barrot

Doctor en Matemàtiques. Treballa a la UdG al departament d'informàtica, matemàtica aplicada i estadística.

Joan Saldaña Meca

Doctor en Matemàtiques i llicenciat en Biologia. Treballa a la UdG al departament d'informàtica, matemàtica aplicada i estadística.



JO. Bones, estic cursant el Batxillerat Científic. El meu treball de recerca és Les matemàtiques del coronavirus. El que he fet és dividir el treball en dos: A la part teòrica primer trobem tot el que és biologia, el virus, el coronavirus, el SARS-1 i el 2 i el MERS, llavors hi ha una part teòrica informativa, que és on hi haurà totes les dades reals, basades en les dades del ministeri de Sanitat. La meva tutora m'ha dit que això ho posés i fes la gràfica real.

Llavors a la part pràctica, he introduït informació del model que utilitzaré, i a partir d'aquí, basant-me en els 14 primers dies del primer cas constant de coronavirus, crearé una corba que s'aproximi al màxim a la corba que he fet a la part teòrica, la real.

I després entrevistes, una és a un professor de Xile, qui va fer un document que parlava sobre un model per crear una corba com la que jo vull crear i després de posar-me en contacte, vam fer una videotrucada i ell em va explicar quatre coses que creia important
JOAN. Aquest professor és de la politècnica?

JO. No, va estar-hi, ara està a Xile.

JOAN. A si, la politècnica va fer un document molt entenedor que explicava la corba de Gompers.

JO. Sí, i després d'aquest en vam fer un semblant, però en aquest ja hi havia fórmules matemàtiques, que és el que m'interessa.

JOAN. Ah, abans que se m'oblidi, la Generalitat també té una base de dades on diàriament publica coses de la Covid.

JO. A val.

JOAN. A vegades no coincideix amb el ministeri, ja que aquests a vegades acumulen casos i barregen.

JO. Sí, m'hi he trobat...

JOAN. Llavors la corba aquesta que tu vols fer servir per ajustar les dades, com la penses fer, és a dir, quin serà el teu punt de partida?

JO. O sigui, agafes les dades reals dels 14 primers dies, i llavors del dia 15, ho aconseguiràs mirant les dades del dia anterior. I arribes al dia 50.

DAVID. Recordes el procediment, si té un nom o en què consisteix.

JO. És una fórmula, però vaig estar buscant i no té un nom específic. Espera que li ensenyo quin és. No uso el model SIR, ja que amb aquest hi havia càlculs que no sabia fer.

DAVID. Deu ser un model estadístic, no Joan?

JOAN. Si jo crec que si, pel que diu ella.

JO. Us comparteixo la pantalla, i així podreu veure el document explicatiu. El seu article es diu: *Un modelo simple para el número de infectados por Covid-19*, i l'autor és Salomón Rebollo-Perdomo.

DAVID. Això em sona molt.

JOAN. Ara estava mirant si era aquell article de la UPC.

JO. La veritat és que és molt entenedor i ell també em va ajudar molt.

DAVID. Em sona molt, tant el nom d'ell com el títol.

JOAN. Ah, val això és dels materials matemàtics de l'Autònoma.

JO. Si, al principi dona la fórmula: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot (N - X)$ i llavors em va dir que com que en aquest model no té en compte la gent confinada, va fer aquest altre on sí que es té en compte: $\frac{dX}{dt} = k \cdot X \cdot (I - C) N - X$.

JOAN. Ah val.

JO. Però en cap moment he trobat el nom.

DAVID. Això és com un model logístic, no Joan?

JOAN. Si, això és logística, però el terme primer, que seria la capacitat de càrrega, la N, l'ha corregida per aquest factor $(I-C)$, on C és el percentatge de gent confinada. És un model logístic, per això la corba té la forma de S.

JO. Si, li surt una corba com una S.

JOAN. Exacte.

JO. Jo havia pensat aquesta fórmula, però si creieu que no és suficient, puc canviar o el que sigui.

JOAN. El que passa és que si tu mires els catorze primers dies, sovint quan tu ajustes una corba et surt una corba exponencial, perquè es quan comença a créixer tot, no?, si fas servir el SIR, per exemple.

JOAN. En canvi aquesta o el model que et deia jo de la UPC, que fa servir un altre model, també té aquesta forma de la S , és a dir, estan suposant que comença a créixer, llavors prens mesures i per tant s'atura i hi ha un moment que ja no creix més.

JO. Un cop tens la X (infectats), $N-X$ (població no infectada: població total menys els infectats) i la k (que és constant d'infectabilitat de la malaltia i per aconseguir aquest valor, utilitzem les dades dels dies anteriors que volem preveure i fent la mitjana aritmètica d'uns quants valors. Un cop té tots els valors ja podrà les dades de demà a partir de les d'avui.

DAVID. Sí, és un model senzill, però que està bé.

JOAN. Però a veure, segurament, t'ho dic sense pensar-hi gaire. Aquesta k només la calcules durant els 14 primers dies.

JO. Sí, i llavors és un valor constant.

JOAN. Això suposa que la k no canvia, per tant és creixement exponencial. Quan la x és molt petita en comparació a N , bàsicament l'equació diferencial que tens és que k per N per X , i això et dona aquest creixement exponencial que deia. Llavors ell el que fa es posa aquest $(I-C)$ on hi ha N per reflectir aquest confinament, no?

JO. Si, exacte. Fa un segon model. I posa $(I-C)$ multiplicant.

JOAN. Està bé.

DAVID. Sí, per nivell batxillerat està molt bé.

JO. Sí, per això, és que tot el que era model SIR o SEIR, per tant hi ha recuperats, hi havia càlculs més complicats. La meva germana ho sap fer, però és el meu treball i volia buscar un model adaptat al meu nivell.

DAVID. És evident. Quan veníem cap aquí jo li comentava a en Joan, ostres, un treball de Batxillerat de les matemàtiques de la Covid, l'eina més essencial o fonamental són les equacions diferencials, i això no es fa a batxillerat. I pensava, com ho enfocarà, però amb aquest model així de senzill és bo.

JO. Si, quan vaig trobar aquest informe, vaig investigar-hi més a fons, ja que creia que era una bona eina.

JOAN. Ara estava mirant, però no ho trobo un altre model, el de la UPC. Per què amb aquest model ja en tens suficient?

JO. Sí, jo diria que sí.

JOAN. La UPC va usar un altre model, que no hi ha equacions diferencials, és més descriptiu. Per si et pot interessar.

JO. Oi tant, si em pot servir.

DAVID. Home, li pots enviar per si li faltés informació.

JOAN. Si, és que és una corba similar a la que ens ha enviat. Per què la corba que ens ha ensenyat és la solució de l'equació diferencial, i en canvi aquesta corba és de la corba de Gomper, que també, té uns paràmetres i els ajusta, el que fan és que la k va canviant en el temps i llavors és més ajustable la corba.

JO. D'acord, doncs m'ho miraré.

JOAN. Ara si trobo l'article, te l'envio.

JO. Llavors creieu que és un bon model.

DAVID. Oi tant. Un altre idea que et podem donar és que ens pots fer una entrevista a nivell de professors de matemàtics. Amb paraules senzilles, quins altres enfocaments hi ha per tractar aquestes pandèmies, com ara les xarxes complexes. Que als models, el que tenen en compte són els contactes i per tant suposes que la població està constantment connectada i per tant és un model poc realista, però si vols afinar una mica més cap a real, hi poses una xarxa, uns nodes (boles) i uns enllaços (arestes). De manera que si un individu treballa de cara al públic, pots imaginar que al node (individu) li surten molts enllaços, en canvi, un treballador d'oficina, que no té molts contactes, hi hauria un node amb pocs enllaços. I per tant hi ha una població heterogènia, amb nodes que tenen molts contactes i altres amb menys.

Fins i tot, pots pensar que en temps de confinament, cada node té tres contactes, els membres de la unitat familiar, per tant aquesta xarxa també pot canviar al llarg del temps. Ho entens?

JO. Sí, sí, l'única cosa és que no sé com integrar-ho al treball o a la vessant matemàtica.

DAVID. No, això és molt més complicat. L'única cosa que podries parlar aquest model, com a model de la UdG.

JO. Fantàstic.

DAVID. Durant aquestes èpoques s'han fet models de la Covid a totes les universitats, alguns logístics, alguns diferencials, i n'hi ha de xarxes, amb una pretensió molt realista. On cada node no era una persona sinó una residència de gent gran, dins de la qual hi ha

nodes que sí que són les persones, de forma que tot representant la població s'executen aquestes xarxes mitjançant ordinadors. Això són simulacions. Però això ja és més complicat.

JO. D'acord, ja m'ho miraré.

JO. A més a més, quan parli del model d'en Salomón, com em refereixo? Quin nom li dic?

DAVID. Aquest model no té un nom específic, ve d'un model que es diu logístic. Que es va proposar per primer cop per modelar la població. Per exemple, un país que no hi ha ni naixements ni morts sinó que els únics factors que la modelen és l'espai físic i l'aliment. Bàsicament pel que vist, ve de l'equació logística, i el que ha fet és una simplificació del SIR i el SEIR. A veure t'he de dir, que com a article de divulgació està molt bé, però no és un model per fer prediccions útils. A una revista científica no li acceptarien, però no és la seva intenció, sinó només reflectir les idees principals. Els models són molt més complicats.

Per tant en si no té nom, sinó que és una modificació de la logística.

JOAN. Jo crec que el que està fent és, agafar el model SIR (Susceptibles, infectats i recuperats) i transformar-lo en SI (susceptibles i infectats). Llavors l'equació que fa servir són uns infectats per uns susceptibles. Com que no inclou els recuperats, no necessita una altra equació.

Ignora el fet que els infectats es recuperen i per tant és senzill realitzar la corba, aquesta és típica en algunes branques de la ciència, sobretot en química i geologia.

Per tant li pots dir SI o model logístic, ja que si es recuperen, ja no seria possible que els susceptibles és $N-X$.

JO. Fantàstic.

DAVID. I Fixat per tant que com a model, és molt límit. Ja que tots sabem que hi ha molts estats: sa, exposat, infectat asimptomàtic, infectat simptomàtic, recuperat, ingressat, morts... la gent que ha treballat amb models realistes ha treballat amb una equació per cada estat i així sistemes d'equacions diferencials. I ell com ha volgut fer una cosa divulgativa, no ho té en compte. Segur que als primers dies et funciona però al cap dels dies no, ja que no incorpora certs estats imprescindibles. Però pel teu nivell és un model molt bo.

DAVID. Molt bé, doncs que en Joan et passi el document.

JO. Perfecte.

JOAN. Si, a veure si el pots utilitzar, ja que és un nivell similar al d'en Salomón.

JO. Súper, ja que tots els models que trobava eren complicats o superiors al meu nivell i en veure aquest vaig pensar que era l'indicat.

JOAN. Està molt bé que ho hagi trobat.

JO. Bé, buscant. Quan ja feia un mes que estàvem confinats i vaig decidir el títol, vaig buscar informació i vaig trobar-lo.

DAVID. Com que ara ja tens els nostres correus, qualsevol cosa ens ho envies.

JO. Gràcies. Per cert, hi ha alguna altra cosa que creieu que pugui complementar la part pràctica, com per exemple crear la corba del segon rebrot o alguna cosa similar?

DAVID. Però ara que hi ha dades cada dia, pots intentar repetir el procés i tot aplicant el mateix raonament, pots visualitzar que passarà els pròxims dies.

JOAN. Però en principi quan tu tens aquestes corbes logístiques, en principi, aquesta constant k , el que posen en ecologia és la constant de càrrega, a quanta gent puc infectar. Sovint el que es fa en ecologia, s'estimen aquestes dues dades, ja que no pots saber ni k ni N . Prens el logaritme de les teves dades i pots estimar quant val la k i la capacitat de càrrega, i així calcular $I-C$, ja que tu no el saps.

JO. Si, si, ell posava un percentatge i deixa que durant el confinament total, el confinament és del 90% i el que em va dir és que puc jugar amb el percentatge, potser amb un 85% pot aproximar-se més a la corba.

I llavors aniria posant les diferents possibilitats de corba.

JOAN. Exacte, jo crec això, que has de pensar que la I i la C , són paràmetres que no són fixos. Per tant, pots ajustar la corba amb aquests dos paràmetres.

Tot i que crec que podries fer-ho també amb els rebrots de l'estiu, com al Segrià o a l'Hospitalet.

DAVID. Si tiressis per aquí, t'ajudaríem.

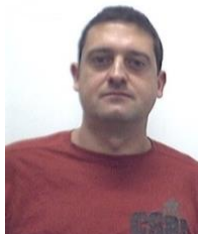
JO. Fem una cosa, jo ara em miro tot el que hem parlat i us ho comento a veure què fem, per què potser és molta feina per un Treball de Recerca.

DAVID. Oi tant, ja ens diràs.

JO. Moltes gràcies.

PROFESSORS DE MATEMÀTIQUES DE LA UdG II

Tot seguit trobem l'entrevista del 10 de setembre, amb els professors de la Universitat de Girona, Joan Saldaña i David Juher.



David Juher Barrot

Doctor en Matemàtiques. Treballa a la UdG al departament d'informàtica, matemàtica aplicada i estadística.

Joan Saldaña Meca

Doctor en Matemàtiques i llicenciat en Biologia. Treballa a la UdG al departament d'informàtica, matemàtica aplicada i estadística.



JO. Bon dia.

JOAN. Bones.

DAVID. Som-hi.

JO. Primer de tot moltes gràcies per atendre'm. He pensat fer-vos unes quantes preguntes, algunes relacionades amb el model que uso al treball i altres sobre la vostra opinió envers la pandèmia.

DAVID. Endavant.

JO. La primera pregunta és: Creieu que hi ha un vincle entre les matemàtiques i la medicina, en l'àmbit del desenvolupament de la malaltia o de si les matemàtiques poden ajudar a la medicina?

JOAN. Mira et posaré un exemple d'aquest estiu, un dels temes que hi ha amb la Covid, és a quanta gent cal vacunar per tenir la immunitat de la malaltia, no a una persona sinó a tota una població. Per exemple, un 90% de la població està vacunada del xarampió i així no es propaga, el mateix amb la grip, la verola i altres. Amb els models, com el que mires tu, et donen un % de població a vacunar molt alt per tenir immunitzada la població de la Covid, per contra, hi ha estudis matemàtics molt més precisos, que el que fan és mirar com es relaciona la gent i predir un percentatge més baix dels que preveuen els models més senzills. Per tant, tu vacunes a la població que té més tendència a tenir contactes i per tant a infectar-se de la malaltia.

I justament al mes d'agost, a la revista 'The Scientist', va sortir un article matemàtic que parlava d'això, com canvia la immunitat de grup d'una població quan es tenen en compte

que no tothom es comporta de la mateixa manera, i a partir d'això, amb càlculs matemàtics, calculaven quina era la probabilitat de tenir un rebrot important a la població, una segona onada. Això és l'exemple més recent, l'article és del 14 d'agut, que se m'acut, però bé en medicina, que no siguin epidèmies hi ha moltes altres aplicacions. No sé si en David té alguna cosa a dir?

DAVID. Si, això no vol dir que els metges en el seu dia a dia, de manera rutinària i general, facin servir les matemàtiques, això és un altre tema. Però hi ha moltíssims models de malalties, com la diabetis, que intervenen molts factors, l'alimentació del pacient, la insulina que s'injecta, l'exercici físic que fa, l'estrès, i altres factors, quan intervenen tants factors que es retroalimenten els uns amb els altres és una cosa complicada, i es fan models matemàtics que intenten explicar i predir com evoluciona la malaltia, en el metabolisme, hi ha molts models metabòlics, equacions que governen com es propaga un càncer, metàstasi. Hi ha molts casos en què la modelització pot ajudar a entendre coses als metges.

Jo recordo una xerrada que va venir en Juli Paretó, un bioquímic catedràtic de València, que va venir a fer una xerrada divulgativa, i a la presentació, jo vaig dir, us presento a tal persona i potser us sorprendrà que un departament de matemàtiques com el nostre, convidi a una xerrada de divulgació a un bioquímic, però jo considero que les matemàtiques sempre havien estat ficades amb la bioquímica. Ell va dir que oi tant, que les matemàtiques els ajudaven moltíssim, va dir ell, explícitament, per tant és evident que hi ha una relació.

JO. Ara parlava de la modelització, i la pregunta és, la seva funció és preveure que passarà amb les matemàtiques?

DAVID. Bé, pensa que l'esperit de la modelització és agafar alguna cosa del món real, típicament, complicadíssima, molt complexa, hi ha fins i tot una quantitat infinita de factors que interfereixen. Saber modelitzar bé és analitzar això i quedar-te amb les variables que creus que seran més importants, amb ajuda d'un metge, fins i tot agafar les relacions entre aquestes variables; i el matemàtic les intenta relacionar amb equacions. I al final, tens un sistema d'equacions, que és una petita representació de la part més important de les variables que tu estàs estudiant. El matemàtic les intenta resoldre, i obté conclusions o no, si no es pot resoldre les equacions, les intenta resoldre numèricament com t'ha passat al treball. Bé, l'ideal és fer prediccions, és la part més desitjable de la modelització, però no és l'únic objectiu, sinó entendre, donar llum sobre com es comporta la realitat tan complexa. Suposo que en Joan té alguna cosa a dir.

JOAN. L'última frase ho explica tot, me l'has tret. Ajudar a entendre com funciona la realitat, a vegades com una caricatura, molt simplificat, quedant-te amb el més essencial. En aquest sentit la modelització és com art, tu has d'aconseguir d'alguna manera aquelles parts de realitat que tu estàs estudiant. Hi ha una cosa clara, és que un metge pot tenir clar com afecten les coses, però en nivell matemàtic no, una relació lineal, no lineal, com traduïm això en un model, que és on entren les matemàtiques. Quan tu escrius un sistema, ja estàs dient com interactuen les coses, per tant quina comprensió tens tu del sistema, a partir d'aquí pots fer prediccions, bones o dolentes en funció de la teva comprensió de la situació, si és dolenta, pots fer prediccions però seran dolentes. D'alguna manera hi ha un primer pas de la modelització que és entendre com funciona el sistema, similar a uns experiments del laboratori, on a partir de les dades experimentals, tu veus com evoluciona i això ho vas introduint a les equacions, a la modelització, com fas al treball, suposant que una part està confinada, i això amb moltes altres variables. Aquest és el primer pas que t'ajuda a entendre el sistema, si tu has copsat bé la realitat, les teves prediccions poden ser encertades i et poden ajudar a orientar a salut pública, a un metge o a un altre camp. Per tant és: comprendre la realitat, malgrat que potser d'aquí a uns anys hi ha aspectes que ja es coneixen i pots millorar o ampliar el model, però amb el coneixement d'ara que tenim de la realitat, per això sempre parlem de caricatures, ja que no ho sabem tot, intentes entendre com funciona i fas les teves prediccions cap al futur.

Una mica és el que passa quan a la televisió parlen del factor de risc perquè rebroti la Covid als diferents llocs, què es té en compte? Doncs hi ha models molt complicats que miren com es mou la gent, quan va a treballar, si t'ho mires a escala global és molt complicat, i n'hi ha molts de models, no tothom usa el mateix, perquè com deia el David, la realitat és complexa i acabes escrivint diferents equacions, tot i que estan tractant de reflectir la mateixa realitat.

JO. Amb l'ajuda de les matemàtiques, creieu que l'impacte de la pandèmia podia haver estat menor, ja sigui confinar abans, com haver vist que la pandèmia arribava i així estalviar un gran nombre d'infectats i de morts, o no és possible?

DAVID. Si, bé. Això és l'ideal, és a dir, ràpidament que ens van confinar, fins i tot en mitjans de comunicació no científics com els diaris, van començar a sortir diferents models, que si el catedràtic de Tarragona, i cadascú deia una mica la seva, seguint el seu model. No sé, hi havia gent que de les seves equacions considerava que tu tens una població hi ha un virus, i assumeixes que tothom té contacte amb tothom. Llavors entre un model més extens que diu que hi ha una estructura a la població, dependent de la feina

tens uns contactes o no i per tant la població és heterogènia. Si tens en compte que la gent es mou amb transport públic el virus també es mou i per tant hi ha un altre factor a tenir en compte. Van sortir pràcticament les primeres setmanes, tants models com investigadors i universitats, tothom deia la seva. I, jo he llegit, i tu també, inclús pel treball seria una bona idea, als diaris, diferents prediccions, n'hi ha moltes, les hauràs trobat. I tu diràs, així les matemàtiques què, les matemàtiques no són màgiques, sinó que donat un sistema o unes equacions les estudia i hi dona unes prediccions, però la gràcia està en on ha sortit les equacions, què has tingut en compte. El que deia en Joan l'art de mirar la realitat i muntar unes bones equacions.

La resposta al que dius preguntes és sí, però hi ha d'haver un bon model i llavors podrem veure que fer amb el confinament, amb la vacuna, caldrà vacunar a un 99% de la població o vacunant sectors estratègics ja està?. Per tant, si el model és bo pots extreure conclusions econòmiques, socials i polítiques molt bones, però sempre depèn del primer pas de construir les equacions.

JOAN. Deixa'm dir una cosa, tot i que estic completament d'acord. La teva pregunta era si: Abans de la pandèmia podíem preveure que passaria. La resposta és si, perquè si recordes, el nom d'aquest virus és SARS-CoV-2, per tant el 2002 hi va haver la SARS-1. I aquesta epidèmia ens va ensenyar moltes coses, quasi totes les que ha dit en David. Era molt important on hi havia els rebrotos, ja que la SARS-1 va començar amb un infectat a l'hospital que per culpa de l'aire condicionat ho va passar a tots els pacients i ràpidament es va propagar a tot el món. Però es va poder contenir ràpidament, ja que no era tan asimptomàtic com la covid-19. I l'any 2002 ja ens van ensenyar que els contactes que tenia la població eren molt importants, va donar a les matemàtiques la teoria de Graphs, tot combinant equacions diferencials fan equacions més acurades.

Arribem al 2019 i com a societat no hem après res, l'experiència no ha servit, ja que no el vam contenir [...]. És més, jo estic llegint un llibre sobre epidèmies, escrit el 2018, per tant encara no hi havia la Covid i planteja un escenari de què passaria si hi hagués una gran pandèmia, per tant preveu l'escenari actual.

La resposta a la resposta és si, però com a societat hem estat ineficients i no hem implementat les mesures corresponents, pels riscos que comporta. Essencialment no hem après res de nou de la Covid-19, ja ho sabíem tot del SARS-1.

JO. Val, llavors.

JOAN. Ai perdona, et volia comentar una cosa que et farà gràcia. Això és el CDC, la pàgina web del Center for Disease Control and Prevention, i aquí ensenya la gran quantitat

de models que s'han formulat, a partir de l'evolució real i a continuació les prediccions corresponents [...].

JO. Com a pregunta més personal, com creieu que acabarà la pandèmia?

DAVID. Jo crec que continuarem igual, amb confinaments. I quan hi hagi la vacuna, ja en parlarem, no serà immediat. Hi haurà diferents tipus de vacunes, no se sabrà a qui cal vacunar i cada quant s'ha de vacunar.

És una opinió subjectiva totalment, però jo crec que hi ha tema per dos o tres anys mínim. Espero equivocar-me...

JOAN. No, no, no t'equivoques.

Però a més a més, cal tenir en compte els efectes secundaris que provoca la malaltia. Una cosa és el prepagament de la malaltia i l'altra és com es cura. [...]

Encara que tot el món estigui treballant per solucionar el problema, no és senzill. I la vida normal, com abans, crec que no hi tornarem fins al 2022.

JO. Finalment, un tema més matemàtic, sobre el meu treball. Em va comentar que l'equació diferencial del model 2, no es pot resoldre analíticament sinó que s'ha de resoldre numèricament. A què es refereix?

JOAN. A què ho has d'integrar amb un mètode numèric, que t'aproxima una solució real, ja que tu coneixes inicialment el valor de la solució, però a partir d'allà vas aproximant. No sabràs mai la solució real.

DAVID. Sí. Quan fas un càlcul analític, et dona un resultat exacte, sigui amb números o amb incògnites, però és un valor, una fórmula tancada. En canvi, amb moltes equacions, com el model senzill que tu has utilitzat, analíticament no es pot resoldre, però allò té un valor i per saber el valor en qualsevol punt, s'han de fer tècniques numèriques, com si fos una taula de valors.

JOAN. Un detall, el valor que et dona numèric, no és l'exacte, és un aproximat. Si tu calcules una cosa analíticament i numèricament, el resultat serà diferent.

JO. Bé, i per acabar. He fet una gràfica del model 1 d'en Salomón i com podeu veure a la pantalla, la de color blau és el model, que no té en compte el confinament i la de color taronja és la real, i hi ha molta diferència.

Però per comprovar-ho, la diferència és perquè no es té en compte el confinament, i algun altre motiu?

DAVID. Sí, el confinament és molt important.

JOAN. Sí, sí. Al primer model, hi ha una capacitat de càrrega, quanta gent es pot infectar. Com que és un model SI, que no es recupera. Si tu vas a l'equació diferencial: veus que

la N és la capacitat de càrrega, la població total en aquest cas. La derivada de X val 0 quan la X és igual a N , per això hi ha l'asímtota.

JO. Ostres val. Aquest model té en compte que s'infecta tothom.

JOAN. Clar, aquest model no seria lògic, però està ben resolt.

DAVID. T'has quedat amb això que ha dit en Joan que quan la X , el nombre de persones infectades, s'acosta molt a N , aquell terme $X - N$, queda $N - N$ que és 0. I per tant et diu que la derivada, la velocitat que puja la malaltia, no puja més, ja que és 0, ja s'ha saturat tot. Per això queda horitzontal.

JO. D'acord, doncs moltes gràcies.

JOAN. Que vagi molt bé el treball i la presentació.

DAVID. Sí, ja ens diràs.

ANNEX 3**TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 2 i 3**

	POBLACIÓ TOTAL	CASOS POSITIUS DE COVID	% D'INCIDÈNCIA
EEUU	334.484.215	4.209.509	1,259%
Guaiana Francesa	309.304	7.514	2,431%

TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 4

Data	Dia	Casos Espanya
24 de febrer de 2020	0	3
25 de febrer de 2020	1	6
26 de febrer de 2020	2	10
27 de febrer de 2020	3	16
28 de febrer de 2020	4	32
29 de febrer de 2020	5	60
1 de març de 2020	6	89
2 de març de 2020	7	114
3 de març de 2020	8	150
4 de març de 2020	9	198
5 de març de 2020	10	237
6 de març de 2020	11	365
7 de març de 2020	12	430
8 de març de 2020	13	589
9 de març de 2020	14	999
10 de març de 2020	15	1.622
11 de març de 2020	16	2.128
12 de març de 2020	17	2.950
13 de març de 2020	18	4.209
14 de març de 2020	19	5.753
15 de març de 2020	20	7.753

16 de març de 2020	21	9.191
17 de març de 2020	22	11.178
18 de març de 2020	23	13.716
19 de març de 2020	24	17.147
20 de març de 2020	25	19.980
21 de març de 2020	26	24.926
22 de març de 2020	27	28.572
23 de març de 2020	28	33.089
24 de març de 2020	29	39.673
25 de març de 2020	30	47.610
26 de març de 2020	31	56.188
27 de març de 2020	32	64.059
28 de març de 2020	33	72.248
29 de març de 2020	34	78.797
30 de març de 2020	35	85.195
31 de març de 2020	36	94.417
1 d'abril de 2020	37	102.136
2 d'abril de 2020	38	110.238
3 d'abril de 2020	39	117.710
4 d'abril de 2020	40	124.736
5 d'abril de 2020	41	130.759
6 d'abril de 2020	42	135.032
7 d'abril de 2020	43	140.510

8 d'abril de 2020	44	146.690
9 d'abril de 2020	45	152.446
10 d'abril de 2020	46	157.022
11 d'abril de 2020	47	161.852
12 d'abril de 2020	48	166.019
13 d'abril de 2020	49	169.496
14 d'abril de 2020	50	172.541
15 d'abril de 2020	51	177.633
16 d'abril de 2020	52	182.816
17 d'abril de 2020	53	188.068
18 d'abril de 2020	54	191.726
19 d'abril de 2020	55	195.944
20 d'abril de 2020	56	200.210
21 d'abril de 2020	57	204.178
22 d'abril de 2020	58	208.389
23 d'abril de 2020	59*	213.024
24 d'abril de 2020	60	202.990
25 d'abril de 2020	61	205.905
26 d'abril de 2020	62	207.634
27 d'abril de 2020	63	209.465
28 d'abril de 2020	64	210.773
29 d'abril de 2020	65	212.917
30 d'abril de 2020	66	213.435
1 de maig de 2020	67	215.216
2 de maig de 2020	68	216.582
3 de maig de 2020	69	217.466
4 de maig de 2020	70	218.011

5 de maig de 2020	71	219.329
6 de maig de 2020	72	220.325
7 de maig de 2020	73	221.447
8 de maig de 2020	74	222.857
9 de maig de 2020	75	223.578
10 de maig de 2020	76	224.390
11 de maig de 2020	77	227.436
12 de maig de 2020	78	228.030
13 de maig de 2020	79	228.691
14 de maig de 2020	80	229.540
15 de maig de 2020	81	230.183
16 de maig de 2020	82	230.689
17 de maig de 2020	83	231.350
18 de maig de 2020	84	231.606
19 de maig de 2020	85	232.037
20 de maig de 2020	86	232.555
21 de maig de 2020	87	233.037
22 de maig de 2020	88	234.824
23 de maig de 2020	89	235.290
24 de maig de 2020	90	235.772
25 de maig de 2020 *	91	235.400
26 de maig de 2020	92	236.259
27 de maig de 2020	93	236.769
28 de maig de 2020	94	237.906
29 de maig de 2020	95	238.564
30 de maig de 2020	96	239.228
31 de maig de 2020	97	239.429

*Tal com anuncia el Ministeri de Sanitat: *Se está realizando una validación individualizada de los casos por lo que puede haber discrepancias respecto a la notificación agregada de días previos.*

TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 5

DATA	DIA	MORTS ESPANYA
-------------	------------	--------------------------

24 de febrer de 2020	0	
25 de febrer de 2020	1	

26 de febrer de 2020	2	
27 de febrer de 2020	3	
28 de febrer de 2020	4	
29 de febrer de 2020	5	
1 de març de 2020	6	
2 de març de 2020	7	
3 de març de 2020	8	
4 de març de 2020	9	1
5 de març de 2020	10	3
6 de març de 2020	11	5
7 de març de 2020	12	7
8 de març de 2020	13	13
9 de març de 2020	14	16
10 de març de 2020	15	35
11 de març de 2020	16	47
12 de març de 2020	17	84
13 de març de 2020	18	128
14 de març de 2020	19	136
15 de març de 2020	20	288
16 de març de 2020	21	309
17 de març de 2020	22	491
18 de març de 2020	23	598
19 de març de 2020	24	767
20 de març de 2020	25	1.002
21 de març de 2020	26	1.326
22 de març de 2020	27	1.720
23 de març de 2020	28	2.182
24 de març de 2020	29	2.696
25 de març de 2020	30	3.434
26 de març de 2020	31	4.089
27 de març de 2020	32	4.858
28 de març de 2020	33	5.690
29 de març de 2020	34	6.528
30 de març de 2020	35	7.340
31 de març de 2020	36	8.189

1 d'abril de 2020	37	9.053
2 d'abril de 2020	38	10.003
3 d'abril de 2020	39	10.935
4 d'abril de 2020	40	11.744
5 d'abril de 2020	41	12.418
6 d'abril de 2020	42	13.055
7 d'abril de 2020	43	13.798
8 d'abril de 2020	44	14.555
9 d'abril de 2020	45	15.283
10 d'abril de 2020	46	15.843
11 d'abril de 2020	47	16.353
12 d'abril de 2020	48	16.972
13 d'abril de 2020	49	17.489
14 d'abril de 2020	50	18.056
15 d'abril de 2020	51	18.579
16 d'abril de 2020	52	19.130
17 d'abril de 2020	53	19.478
18 d'abril de 2020	54	20.043
19 d'abril de 2020	55	20.453
20 d'abril de 2020	56	20.852
21 d'abril de 2020	57	21.282
22 d'abril de 2020	58	21.717
23 d'abril de 2020	59	22.157
24 d'abril de 2020	60	22.524
25 d'abril de 2020	61	22.902
26 d'abril de 2020	62	23.190
27 d'abril de 2020	63	23.521
28 d'abril de 2020	64	23.822
29 d'abril de 2020	65	24.275
30 d'abril de 2020	66	24.543
1 de maig de 2020	67	24.824
2 de maig de 2020	68	25.100
3 de maig de 2020	69	25.264
4 de maig de 2020	70	25.428
5 de maig de 2020	71	25.613

6 de maig de 2020	72	25.857
7 de maig de 2020	73	26.070
8 de maig de 2020	74	26.299
9 de maig de 2020	75	26.478
10 de maig de 2020	76	26.621
11 de maig de 2020	77	26.744
12 de maig de 2020	78	26.920
13 de maig de 2020	79	27.104
14 de maig de 2020	80	27.321
15 de maig de 2020	81	27.459
16 de maig de 2020	82	27.563
17 de maig de 2020	83	27.650
18 de maig de 2020	84	27.709

19 de maig de 2020	85	27.778
20 de maig de 2020	86	27.888
21 de maig de 2020	87	27.940
22 de maig de 2020	88	28.628
23 de maig de 2020	89	28.678
24 de maig de 2020	90	28.752
25 de maig de 2020*	91	26.834
26 de maig de 2020	92	27.117
27 de maig de 2020	93	27.118
28 de maig de 2020	94	27.119
29 de maig de 2020	95	27.121
30 de maig de 2020	96	27.125
31 de maig de 2020	97	27.127

*Tal com anuncia el Ministeri de Sanitat: *Se está realizando una validación individualizada de los casos por lo que puede haber discrepancias respecto a la notificación agregada de días previos.*

TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 7

DIA	DATA	CASOS ESPANYA MODEL 1	CASOS ESPANYA REAL
0	23 de febrer de 2020	0	0
1	24 de febrer de 2020	3	3
2	25 de febrer de 2020	6	6
3	26 de febrer de 2020	9	10
4	27 de febrer de 2020	13	16
5	28 de febrer de 2020	20	32
6	29 de febrer de 2020	29	60
7	1 de març de 2020	42	89
8	2 de març de 2020	62	114
9	3 de març de 2020	91	150
10	4 de març de 2020	133	198
11	5 de març de 2020	195	237

12	6 de març de 2020	285	365
13	7 de març de 2020	417	430
14	8 de març de 2020	610	589
15	9 de març de 2020	892	999
16	10 de març de 2020	1.304	1.622
17	11 de març de 2020	1.906	2.128
18	12 de març de 2020	2.786	2.950
19	13 de març de 2020	4.073	4.209
20	14 de març de 2020	5.953	5.753
21	15 de març de 2020	8.702	7.753
22	16 de març de 2020	12.720	9.191
23	17 de març de 2020	18.592	11.178
24	18 de març de 2020	27.173	13.716
25	19 de març de 2020	39.711	17.147
26	20 de març de 2020	58.027	19.980
27	21 de març de 2020	84.776	24.926
28	22 de març de 2020	123.823	28.572
29	23 de març de 2020	180.786	33.089
30	24 de març de 2020	263.807	39.673
31	25 de març de 2020	384.642	47.610
32	26 de març de 2020	560.165	56.188
33	27 de març de 2020	814.396	64.059
34	28 de març de 2020	1.181.095	72.248
35	29 de març de 2020	1.706.849	78.797
36	30 de març de 2020	2.454.193	85.195
37	31 de març de 2020	3.503.629	94.417
38	1 d'abril de 2020	4.952.297	102.136
39	2 d'abril de 2020	6.905.573	110.238
40	3 d'abril de 2020	9.457.319	117.710
41	4 d'abril de 2020	12.656.769	124.736
42	5 d'abril de 2020	16.467.958	130.759
43	6 d'abril de 2020	20.740.301	135.032
44	7 d'abril de 2020	25.215.415	140.510
45	8 d'abril de 2020	29.581.890	146.690
46	9 d'abril de 2020	33.557.128	152.446

47	10 d'abril de 2020	36.954.282	157.022
48	11 d'abril de 2020	39.703.933	161.852
49	12 d'abril de 2020	41.833.288	166.019
50	13 d'abril de 2020	43.426.529	169.496
51	14 d'abril de 2020	44.588.234	172.541
52	15 d'abril de 2020	45.419.415	177.633
53	16 d'abril de 2020	46.006.098	182.816
54	17 d'abril de 2020	46.416.251	188.068
55	18 d'abril de 2020	46.701.072	191.726
56	19 d'abril de 2020	46.897.936	195.944
57	20 d'abril de 2020	47.033.568	200.210
58	21 d'abril de 2020	47.126.806	204.178
59	22 d'abril de 2020	47.190.802	208.389
60	23 d'abril de 2020	47.234.681	213.024
61	24 d'abril de 2020	47.264.746	202.990
62	25 d'abril de 2020	47.285.334	205.905
63	26 d'abril de 2020	47.299.429	207.634
64	27 d'abril de 2020	47.309.077	209.465
65	28 d'abril de 2020	47.315.678	210.773
66	29 d'abril de 2020	47.320.196	212.917
67	30 d'abril de 2020	47.323.286	213.435
68	1 de maig de 2020	47.326.848	215.216
69	2 de maig de 2020	47.327.837	216.582
70	3 de maig de 2020	47.328.514	217.466
71	4 de maig de 2020	47.328.977	218.011
72	5 de maig de 2020	47.329.294	219.329
73	6 de maig de 2020	47.329.511	220.325
74	7 de maig de 2020	47.329.659	221.447
75	8 de maig de 2020	47.329.761	222.857
76	9 de maig de 2020	47.329.830	223.578
77	10 de maig de 2020	47.329.878	224.390
78	11 de maig de 2020	47.329.910	227.436
79	12 de maig de 2020	47.329.932	228.030
80	13 de maig de 2020	47.329.948	228.691
81	14 de maig de 2020	47.329.958	229.540

82	15 de maig de 2020	47.329.965	230.183
83	16 de maig de 2020	47.329.970	230.689
84	17 de maig de 2020	47.329.973	231.350
85	18 de maig de 2020	47.329.976	231.606
86	19 de maig de 2020	47.329.977	232.037
87	20 de maig de 2020	47.329.978	232.555
88	21 de maig de 2020	47.329.979	233.037
89	22 de maig de 2020	47.329.979	234.824
90	23 de maig de 2020	47.329.980	235.290
91	24 de maig de 2020	47.329.980	235.772
92	25 de maig de 2020	47.329.980	235.400
93	26 de maig de 2020	47.329.980	236.259
94	27 de maig de 2020	47.329.980	236.769
95	28 de maig de 2020	47.329.980	237.906
96	29 de maig de 2020	47.329.980	238.564
97	30 de maig de 2020	47.329.980	239.228
98	31 de maig de 2020	47.329.980	239.429

TAULA DE DADES PER REALITZAR LA GRÀFICA 8

Dies	Confinament
1	0,012040664
2	0,014490978
3	0,017430152
4	0,020951366
5	0,025163649
6	0,030193726
7	0,036187695
8	0,043312317
9	0,05175559
10	0,061726196
11	0,073451291
12	0,087171998
13	0,103135922

14	0,121586033
15	0,142745464
16	0,166798187
17	0,193866221
18	0,223984968
19	0,257079377
20	0,292944634
21	0,331235603
22	0,371468929
23	0,413040262
24	0,455256578
25	0,497380556
26	0,53868128
27	0,578484011

28	0,61621201
29	0,651415279
30	0,683783911
31	0,713146744
32	0,739458229
33	0,76277761
34	0,783244574
35	0,801054838
36	0,816438116
37	0,829639785
38	0,840906726
39	0,850477162
40	0,858573979
41	0,865400848

42	0,871140488
43	0,875954438
44	0,879983841
45	0,883350855
46	0,886160396
47	0,888501998
48	0,89045168
49	0,89207371
50	0,893422231
51	0,894542728
52	0,89547332
53	0,89624589
54	0,896887064
55	0,897419046
56	0,897860332
57	0,898226317
58	0,898529803
59	0,898781432
60	0,898990042

61	0,899162973
62	0,899306317
63	0,899425128
64	0,8995236
65	0,899605212
66	0,899672849
67	0,899728901
68	0,899775352
69	0,899813845
70	0,899845744
71	0,899872177
72	0,899894082
73	0,899912233
74	0,899927274
75	0,899939737
76	0,899950065
77	0,899958622
78	0,899965714
79	0,89997159

80	0,899976459
81	0,899980493
82	0,899983836
83	0,899986606
84	0,899988902
85	0,899990804
86	0,89999238
87	0,899993686
88	0,899994768
89	0,899995665
90	0,899996408
91	0,899997023
92	0,899997534
93	0,899997956
94	0,899998307
95	0,899998597
96	0,899998837
97	0,899999037
98	0,899999202

TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 9

DIA	Data	CASOS ESPANYA REAL	CASOS MODEL 2 (Opció 1)
0	23 de febrer de 2020	0	0
1	24 de febrer de 2020	3	59
2	25 de febrer de 2020	6	75
3	26 de febrer de 2020	10	97
4	27 de febrer de 2020	16	125
5	28 de febrer de 2020	32	162
6	29 de febrer de 2020	60	209
7	1 de març de 2020	89	269
8	2 de març de 2020	114	345
9	3 de març de 2020	150	441
10	4 de març de 2020	198	565

11	5 de març de 2020	237	723
12	6 de març de 2020	365	912
13	7 de març de 2020	430	1.162
14	8 de març de 2020	589	1.463
15	9 de març de 2020	999	1.836
16	10 de març de 2020	1.622	2.275
17	11 de març de 2020	2.128	2.810
18	12 de març de 2020	2.950	3.471
19	13 de març de 2020	4.209	4.209
20	14 de març de 2020	5.753	5.094
21	15 de març de 2020	7.753	6.115
22	16 de març de 2020	9.191	7.203
23	17 de març de 2020	11.178	8.403
24	18 de març de 2020	13.716	9.754
25	19 de març de 2020	17.147	11.170
26	20 de març de 2020	19.980	12.653
27	21 de març de 2020	24.926	14.195
28	22 de març de 2020	28.572	15.739
29	23 de març de 2020	33.089	17.316
30	24 de març de 2020	39.673	18.830
31	25 de març de 2020	47.610	20.358
32	26 de març de 2020	56.188	21.837
33	27 de març de 2020	64.059	23.287
34	28 de març de 2020	72.248	24.673
35	29 de març de 2020	78.797	26.040
36	30 de març de 2020	85.195	27.377
37	31 de març de 2020	94.417	28.627
38	1 d'abril de 2020	102.136	29.876
39	2 d'abril de 2020	110.238	31.061
40	3 d'abril de 2020	117.710	32.249
41	4 d'abril de 2020	124.736	33.434
42	5 d'abril de 2020	130.759	34.574
43	6 d'abril de 2020	135.032	35.740
44	7 d'abril de 2020	140.510	36.882
45	8 d'abril de 2020	146.690	38.009

46	9 d'abril de 2020	152.446	39.146
47	10 d'abril de 2020	157.022	40.320
48	11 d'abril de 2020	161.852	41.457
49	12 d'abril de 2020	166.019	42.646
50	13 d'abril de 2020	169.496	43.847
51	14 d'abril de 2020	172.541	45.042
52	15 d'abril de 2020	177.633	46.281
53	16 d'abril de 2020	182.816	47.549
54	17 d'abril de 2020	188.068	48.814
55	18 d'abril de 2020	191.726	50.139
56	19 d'abril de 2020	195.944	51.488
57	20 d'abril de 2020	200.210	52.842
58	21 d'abril de 2020	204.178	54.233
59	22 d'abril de 2020	208.389	55.644
60	23 d'abril de 2020	213.024	57.114
61	24 d'abril de 2020	202.990	58.648
62	25 d'abril de 2020	205.905	60.193
63	26 d'abril de 2020	207.634	61.766
64	27 d'abril de 2020	209.465	63.381
65	28 d'abril de 2020	210.773	65.035
66	29 d'abril de 2020	212.917	66.723
67	30 d'abril de 2020	213.435	68.445
68	1 de maig de 2020	215.216	70.274
69	2 de maig de 2020	216.582	72.062
70	3 de maig de 2020	217.466	73.950
71	4 de maig de 2020	218.011	75.873
72	5 de maig de 2020	219.329	77.828
73	6 de maig de 2020	220.325	79.826
74	7 de maig de 2020	221.447	81.879
75	8 de maig de 2020	222.857	84.004
76	9 de maig de 2020	223.578	86.203
77	10 de maig de 2020	224.390	88.448
78	11 de maig de 2020	227.436	90.762
79	12 de maig de 2020	228.030	93.081
80	13 de maig de 2020	228.691	95.499

81	14 de maig de 2020	229.540	97.913
82	15 de maig de 2020	230.183	100.542
83	16 de maig de 2020	230.689	103.057
84	17 de maig de 2020	231.350	105.737
85	18 de maig de 2020	231.606	108.394
86	19 de maig de 2020	232.037	111.237
87	20 de maig de 2020	232.555	114.079
88	21 de maig de 2020	233.037	117.025
89	22 de maig de 2020	234.824	120.042
90	23 de maig de 2020	235.290	123.097
91	24 de maig de 2020	235.772	126.225
92	25 de maig de 2020	235.400	129.491
93	26 de maig de 2020	236.259	132.795
94	27 de maig de 2020	236.769	136.152
95	28 de maig de 2020	237.906	139.677
96	29 de maig de 2020	238.564	143.269
97	30 de maig de 2020	239.228	146.855
98	31 de maig de 2020	239.429	150.629

TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 10

DIA	DATA	CASOS ESPANYA REAL	CASOS MODEL 2 (Opció 2)
0	23 de febrer de 2020	0	0
1	24 de febrer de 2020	3	49
2	25 de febrer de 2020	6	63
3	26 de febrer de 2020	10	81
4	27 de febrer de 2020	16	104
5	28 de febrer de 2020	32	135
6	29 de febrer de 2020	60	175
7	1 de març de 2020	89	226
8	2 de març de 2020	114	293
9	3 de març de 2020	150	375
10	4 de març de 2020	198	482
11	5 de març de 2020	237	621
12	6 de març de 2020	365	796
13	7 de març de 2020	430	1.018

14	8 de març de 2020	589	1.292
15	9 de març de 2020	999	1.656
16	10 de març de 2020	1.622	2.106
17	11 de març de 2020	2.128	2.661
18	12 de març de 2020	2.950	3.354
19	13 de març de 2020	4.209	4.209
20	14 de març de 2020	5.753	5.264
21	15 de març de 2020	7.753	6.520
22	16 de març de 2020	9.191	8.083
23	17 de març de 2020	11.178	9.951
24	18 de març de 2020	13.716	12.133
25	19 de març de 2020	17.147	14.707
26	20 de març de 2020	19.980	17.592
27	21 de març de 2020	24.926	20.987
28	22 de març de 2020	28.572	24.835
29	23 de març de 2020	33.089	28.942
30	24 de març de 2020	39.673	33.537
31	25 de març de 2020	47.610	38.521
32	26 de març de 2020	56.188	43.787
33	27 de març de 2020	64.059	49.491
34	28 de març de 2020	72.248	55.235
35	29 de març de 2020	78.797	61.494
36	30 de març de 2020	85.195	67.837
37	31 de març de 2020	94.417	74.289
38	1 d'abril de 2020	102.136	80.809
39	2 d'abril de 2020	110.238	87.545
40	3 d'abril de 2020	117.710	94.008
41	4 d'abril de 2020	124.736	100.885
42	5 d'abril de 2020	130.759	107.596
43	6 d'abril de 2020	135.032	114.461
44	7 d'abril de 2020	140.510	121.062
45	8 d'abril de 2020	146.690	128.147
46	9 d'abril de 2020	152.446	135.112
47	10 d'abril de 2020	157.022	141.964

48	11 d'abril de 2020	161.852	149.274
49	12 d'abril de 2020	166.019	156.438
50	13 d'abril de 2020	169.496	163.772
51	14 d'abril de 2020	172.541	171.188
52	15 d'abril de 2020	177.633	178.699
53	16 d'abril de 2020	182.816	186.817
54	17 d'abril de 2020	188.068	194.794
55	18 d'abril de 2020	191.726	202.988
56	19 d'abril de 2020	195.944	211.648
57	20 d'abril de 2020	200.210	220.248
58	21 d'abril de 2020	204.178	228.955
59	22 d'abril de 2020	208.389	238.418
60	23 d'abril de 2020	213.024	247.896
61	24 d'abril de 2020	202.990	257.813
62	25 d'abril de 2020	205.905	267.673
63	26 d'abril de 2020	207.634	278.612
64	27 d'abril de 2020	209.465	289.432
65	28 d'abril de 2020	210.773	300.776
66	29 d'abril de 2020	212.917	312.090
67	30 d'abril de 2020	213.435	324.340
68	1 de maig de 2020	215.216	336.295
69	2 de maig de 2020	216.582	349.473
70	3 de maig de 2020	217.466	362.817
71	4 de maig de 2020	218.011	376.367
72	5 de maig de 2020	219.329	390.215
73	6 de maig de 2020	220.325	405.419
74	7 de maig de 2020	221.447	420.410
75	8 de maig de 2020	222.857	436.283
76	9 de maig de 2020	223.578	452.693
77	10 de maig de 2020	224.390	469.685
78	11 de maig de 2020	227.436	487.115
79	12 de maig de 2020	228.030	504.876
80	13 de maig de 2020	228.691	523.387
81	14 de maig de 2020	229.540	542.982

82	15 de maig de 2020	230.183	562.360
83	16 de maig de 2020	230.689	583.087
84	17 de maig de 2020	231.350	604.381
85	18 de maig de 2020	231.606	625.990
86	19 de maig de 2020	232.037	648.537
87	20 de maig de 2020	232.555	672.273
88	21 de maig de 2020	233.037	695.840
89	22 de maig de 2020	234.824	720.762
90	23 de maig de 2020	235.290	746.277
91	24 de maig de 2020	235.772	773.054
92	25 de maig de 2020	235.400	799.296
93	26 de maig de 2020	236.259	828.186
94	27 de maig de 2020	236.769	856.782
95	28 de maig de 2020	237.906	886.839
96	29 de maig de 2020	238.564	916.577
97	30 de maig de 2020	239.228	948.037
98	31 de maig de 2020	239.429	980.380

TAULA DE VALORS PER REALITZAR LA GRÀFICA 11

DIA	DATA	CASOS ESPANYA REAL	CASOS MODEL 2 (opció 3)
0	23 de febrer de 2020	0	0
1	24 de febrer de 2020	3	50
2	25 de febrer de 2020	6	66
3	26 de febrer de 2020	10	84
4	27 de febrer de 2020	16	109
5	28 de febrer de 2020	32	139
6	29 de febrer de 2020	60	183
7	1 de març de 2020	89	238
8	2 de març de 2020	114	304
9	3 de març de 2020	150	392
10	4 de març de 2020	198	503
11	5 de març de 2020	237	644
12	6 de març de 2020	365	827

13	7 de març de 2020	430	1.041
14	8 de març de 2020	589	1.309
15	9 de març de 2020	999	1.700
16	10 de març de 2020	1.622	2.164
17	11 de març de 2020	2.128	2.701
18	12 de març de 2020	2.950	3.376
19	13 de març de 2020	4.209	4.209
20	14 de març de 2020	5.753	5.235
21	15 de març de 2020	7.753	6.433
22	16 de març de 2020	9.191	7.742
23	17 de març de 2020	11.178	9.411
24	18 de març de 2020	13.716	11.337
25	19 de març de 2020	17.147	13.563
26	20 de març de 2020	19.980	15.937
27	21 de març de 2020	24.926	18.665
28	22 de març de 2020	28.572	21.547
29	23 de març de 2020	33.089	24.556
30	24 de març de 2020	39.673	27.803
31	25 de març de 2020	47.610	31.068
32	26 de març de 2020	56.188	34.398
33	27 de març de 2020	64.059	37.963
34	28 de març de 2020	72.248	41.308
35	29 de març de 2020	78.797	44.887
36	30 de març de 2020	85.195	48.235
37	31 de març de 2020	94.417	51.515
38	1 d'abril de 2020	102.136	54.535
39	2 d'abril de 2020	110.238	57.598
40	3 d'abril de 2020	117.710	60.543
41	4 d'abril de 2020	124.736	63.289
42	5 d'abril de 2020	130.759	66.210
43	6 d'abril de 2020	135.032	68.953
44	7 d'abril de 2020	140.510	71.503
45	8 d'abril de 2020	146.690	74.197
46	9 d'abril de 2020	152.446	76.582
47	10 d'abril de 2020	157.022	79.065
48	11 d'abril de 2020	161.852	81.470
49	12 d'abril de 2020	166.019	83.816
50	13 d'abril de 2020	169.496	86.167

51	14 d'abril de 2020	172.541	88.495
52	15 d'abril de 2020	177.633	90.732
53	16 d'abril de 2020	182.816	93.260
54	17 d'abril de 2020	188.068	95.564
55	18 d'abril de 2020	191.726	97.940
56	19 d'abril de 2020	195.944	100.330
57	20 d'abril de 2020	200.210	102.790
58	21 d'abril de 2020	204.178	105.227
59	22 d'abril de 2020	208.389	107.832
60	23 d'abril de 2020	213.024	110.223
61	24 d'abril de 2020	202.990	112.812
62	25 d'abril de 2020	205.905	115.863
63	26 d'abril de 2020	207.634	118.054
64	27 d'abril de 2020	209.465	120.744
65	28 d'abril de 2020	210.773	123.630
66	29 d'abril de 2020	212.917	126.262
67	30 d'abril de 2020	213.435	129.411
68	1 de maig de 2020	215.216	132.297
69	2 de maig de 2020	216.582	135.135
70	3 de maig de 2020	217.466	138.004
71	4 de maig de 2020	218.011	141.193
72	5 de maig de 2020	219.329	144.273
73	6 de maig de 2020	220.325	147.430
74	7 de maig de 2020	221.447	150.959
75	8 de maig de 2020	222.857	154.168
76	9 de maig de 2020	223.578	157.589
77	10 de maig de 2020	224.390	161.349
78	11 de maig de 2020	227.436	164.634
79	12 de maig de 2020	228.030	168.302
80	13 de maig de 2020	228.691	172.017
81	14 de maig de 2020	229.540	175.617
82	15 de maig de 2020	230.183	179.326
83	16 de maig de 2020	230.689	183.899
84	17 de maig de 2020	231.350	187.694
85	18 de maig de 2020	231.606	191.804
86	19 de maig de 2020	232.037	195.990
87	20 de maig de 2020	232.555	200.226
88	21 de maig de 2020	233.037	204.879

89	22 de maig de 2020	234.824	209.114
90	23 de maig de 2020	235.290	213.699
91	24 de maig de 2020	235.772	218.252
92	25 de maig de 2020	235.400	223.115
93	26 de maig de 2020	236.259	227.879
94	27 de maig de 2020	236.769	232.794
95	28 de maig de 2020	237.906	237.882
96	29 de maig de 2020	238.564	243.159
97	30 de maig de 2020	239.228	248.340
98	31 de maig de 2020	239.429	253.642

TAULA DE VALORS PER REALIZAR LA GRÀFICA 12

DIA	Data	CASOS ESPANYA REAL	CASOS MODEL 2 (opció 4)
0	23 de febrer de 2020	0	0
1	24 de febrer de 2020	3	8
2	25 de febrer de 2020	6	12
3	26 de febrer de 2020	10	17
4	27 de febrer de 2020	16	25
5	28 de febrer de 2020	32	35
6	29 de febrer de 2020	60	51
7	1 de març de 2020	89	73
8	2 de març de 2020	114	104
9	3 de març de 2020	150	148
10	4 de març de 2020	198	210
11	5 de març de 2020	237	305
12	6 de març de 2020	365	426
13	7 de març de 2020	430	601
14	8 de març de 2020	589	834
15	9 de març de 2020	999	1.169
16	10 de març de 2020	1.622	1.630
17	11 de març de 2020	2.128	2.293
18	12 de març de 2020	2.950	3.140

19	13 de març de 2020	4.209	4.209
20	14 de març de 2020	5.753	5.689
21	15 de març de 2020	7.753	7.617
22	16 de març de 2020	9.191	9.981
23	17 de març de 2020	11.178	13.141
24	18 de març de 2020	13.716	16.647
25	19 de març de 2020	17.147	21.115
26	20 de març de 2020	19.980	26.344
27	21 de març de 2020	24.926	32.162
28	22 de març de 2020	28.572	38.952
29	23 de març de 2020	33.089	45.952
30	24 de març de 2020	39.673	53.690
31	25 de març de 2020	47.610	61.292
32	26 de març de 2020	56.188	69.448
33	27 de març de 2020	64.059	77.581
34	28 de març de 2020	72.248	85.549
35	29 de març de 2020	78.797	92.853
36	30 de març de 2020	85.195	99.965
37	31 de març de 2020	94.417	107.060
38	1 d'abril de 2020	102.136	113.115
39	2 d'abril de 2020	110.238	118.994
40	3 d'abril de 2020	117.710	124.265
41	4 d'abril de 2020	124.736	128.940
42	5 d'abril de 2020	130.759	133.520
43	6 d'abril de 2020	135.032	137.450
44	7 d'abril de 2020	140.510	141.116
45	8 d'abril de 2020	146.690	144.487
46	9 d'abril de 2020	152.446	147.579
47	10 d'abril de 2020	157.022	150.441
48	11 d'abril de 2020	161.852	153.181
49	12 d'abril de 2020	166.019	155.609
50	13 d'abril de 2020	169.496	157.987
51	14 d'abril de 2020	172.541	160.137

52	15 d'abril de 2020	177.633	162.271
53	16 d'abril de 2020	182.816	164.252
54	17 d'abril de 2020	188.068	166.215
55	18 d'abril de 2020	191.726	168.143
56	19 d'abril de 2020	195.944	169.979
57	20 d'abril de 2020	200.210	171.789
58	21 d'abril de 2020	204.178	173.529
59	22 d'abril de 2020	208.389	175.291
60	23 d'abril de 2020	213.024	177.054
61	24 d'abril de 2020	202.990	178.789
62	25 d'abril de 2020	205.905	180.468
63	26 d'abril de 2020	207.634	182.118
64	27 d'abril de 2020	209.465	183.903
65	28 d'abril de 2020	210.773	185.554
66	29 d'abril de 2020	212.917	187.286
67	30 d'abril de 2020	213.435	188.969
68	1 de maig de 2020	215.216	190.656
69	2 de maig de 2020	216.582	192.332
70	3 de maig de 2020	217.466	194.104
71	4 de maig de 2020	218.011	195.864
72	5 de maig de 2020	219.329	197.553
73	6 de maig de 2020	220.325	199.320
74	7 de maig de 2020	221.447	201.045
75	8 de maig de 2020	222.857	202.783
76	9 de maig de 2020	223.578	204.659
77	10 de maig de 2020	224.390	206.423
78	11 de maig de 2020	227.436	208.170
79	12 de maig de 2020	228.030	210.023
80	13 de maig de 2020	228.691	211.855
81	14 de maig de 2020	229.540	213.640
82	15 de maig de 2020	230.183	215.542
83	16 de maig de 2020	230.689	217.304
84	17 de maig de 2020	231.350	219.225

85	18 de maig de 2020	231.606	221.129
86	19 de maig de 2020	232.037	223.037
87	20 de maig de 2020	232.555	224.926
88	21 de maig de 2020	233.037	226.783
89	22 de maig de 2020	234.824	228.743
90	23 de maig de 2020	235.290	230.737
91	24 de maig de 2020	235.772	232.681
92	25 de maig de 2020	235.400	234.644
93	26 de maig de 2020	236.259	236.628
94	27 de maig de 2020	236.769	238.577
95	28 de maig de 2020	237.906	240.616
96	29 de maig de 2020	238.564	242.676
97	30 de maig de 2020	239.228	244.678
98	31 de maig de 2020	239.429	246.725

