

Epidèmies i matemàtiques



Les matemàtiques salven vides. I en temps de COVID-19 això és literal. Ajuden als dirigents a prendre les millors decisions per tal d'aturar l'avançament de malalties com ara la COVID-19. Però per tal de trobar les matemàtiques darrera la propagació de la COVID, hi ha gent que no ha parat de treballar durant la pandèmia com els membres del grup BIOCOSM de la UPC. I ara ens han ajudat a que pugueu ser part d'un dels seus models... i a entendre millor com es transmeten les malalties infeccioses!

Una mica de teoria

Dintre els ordinadors dels membres del grup de Biologia Computacional i Sistemes Complexos hi ha una realitat paral·lela, però simplificada, de com es propaga la COVID. A aquesta realitat paral·lela que corre per dintre els circuits de silici s'anomena **model matemàtic**. *La idea darrera un model matemàtic és senzilla*: posem les dades que tenim de l'epidèmia, fem una sèrie d'operacions matemàtiques i tenim la predicció. *La realització és molt complicada*. No podem posar tota la realitat dintre el nostre ordinador... per tant l'hem de simplificar. Per crear un bon model matemàtic necessitem:

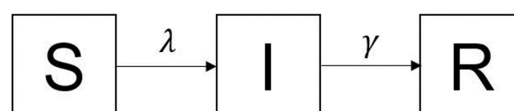
- Per una banda trobar quins són les **dades** importants que descriuen la propagació de la malaltia. Si fos una partida d'escacs, seria el nombre de cadascuna de les peces (peons, alfils, dames...)
- Per altra ens caldrà investigar quins són els **mecanismes** principals que fan que la malaltia infecti la gent es propagui. En l'exemple anterior, els mecanismes serien els moviments que poden fer cadascuna de les fitxes.

Comencem per **les dades** amb les quals treballem en el nostre model. En el cas de les malalties infeccioses suposarem que les persones poden estar en tres estats diferents:

- **Persones Susceptibles o Sanes (S):** Que una persona sigui susceptible vol dir que està sana. Per tant pot encomanar-se de persones que són infeccioses. En cas que s'infectin de la malaltia la poden transmetre a altres persones. Per tant definim un segon grup:
- **Persones Infeccioses (I):** Són les persones que estan patint la malaltia i la poden contagiar. Per sort, quan una persona s'infecta, la presència del virus desencadena una reacció immunològica. Això provoca que la malaltia tingui una durada aproximadament constant per totes les persones. Un cop transcorregut aquests dies la persona es fa immune a l'organisme que provoca la malaltia. Per tant definim un tercer grup:
- **Persones Recuperades (R):** Considerarem que els individus recuperats són immunes i no poden tornar a emmalaltir. Tampoc podran, per tant, contagiar un altre cop

El mecanisme darrera la malaltia és clau per tal que el nostre model s'assembli al màxim a la realitat. En el nostre model establirem dos mecanismes que descriuen com avança la malaltia:

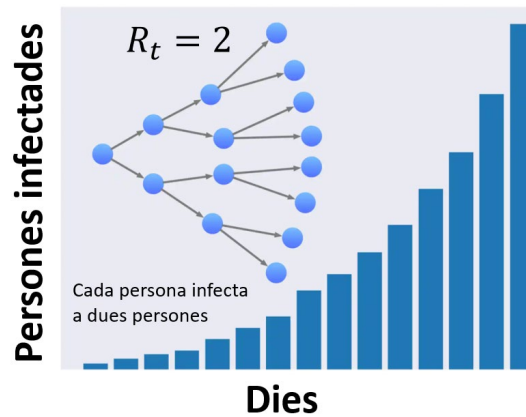
- Cada "dia" una persona malalta pot **encomanar només a una altra persona**. (Al model matemàtic real això es diu la *taxa de transmissió, λ*)
- Suposarem també que la persona infecciosa **està malalta dos dies**. (Al model matemàtic real això s'anomena *taxa de recuperació, γ*)



Aquest model molt simple s'anomena **model SIR**¹. La realitat és molt més complexa, però amb aquest model tan simple podem començar a entendre la dinàmica de diferents malalties infeccioses. En funció del mecanisme de transmissió les malalties es transmeten més o menys ràpidament. Si el nombre de persones malaltes creix ràpidament, parlem de l'existència d'una epidèmia. Quan una epidèmia abasta una gran àrea geogràfica es diu que patim una pandèmia, com la covid-19 que és una epidèmia que ha arribat a tots els racons del món i per tant és una pandèmia.

¹ Aquest model matemàtic existeix... de fet és un conjunt d'equacions diferencials acoblades molt bonic... però al parc del Fòrum farem una simplificació 😊.

Quan una persona s'ha infectat pot infectar una, dues, tres o moltes més persones. Definim com **Nombre reproductiu efectiu (R_t)** al nombre mitjà de persones que infecta una persona infecciosa. És un valor molt important per entendre la dinàmica de l'epidèmia. Si $R_t > 1$ cada cop tindrem més persones afectades i l'epidèmia estarà en fase d'expansió. Si $R_t < 1$ el nombre de persones infectades va disminuint i l'epidèmia està en fase de control.



El nombre de persones que infecta una persona depèn de molts factors, de la forma en què es realitza el contagi, de les mesures higièniques i de control... Un factor molt important és el nombre de persones susceptibles amb les quals pot interaccionar una persona infecciosa. Això es pot limitar limitant el contacte entre la gent. És a dir, confinant la població. Per sort, però, hi ha una altra forma: **vacunar** la població!

Per algunes malalties infeccioses existeixen vacunes amb bona efectivitat. D'aquesta manera *si una part important de la població està vacunada, s'aconsegueix que el nombre de malalts no creixi sense control*. És a dir, evitem una epidèmia. Això només és possible si una persona infecta menys d'una persona... en mitjana!² Dit d'una altra forma s'aconsegueix que R_t prengui valors inferiors a 1. En aquesta situació es diu que **existeix immunitat de grup** o **immunitat de ramat**. El fet que hi hagi moltes persones protegides no evita que una persona susceptible pugui emmalaltir, però evitar que la malaltia es propagui ràpidament.

Per alguna estranya raó, alguna gent decideix no vacunar-se. Això no només afecta qui pren aquesta decisió, que pot contraure la malaltia i morir³. Això afecta tota la societat! Com hem dit la vacunació fa que una malaltia es propagui molt lentament, doncs no troba gent a la que infectar. D'aquesta forma aconseguim, primer, reduir la gent que és a l'hospital, i per altra banda, guanyem temps per trobar remeis més efectius contra la malaltia.

² Això no vol dir que cada persona infecti només una mà o un peu d'una altra persona! Això vol dir que alguns infectaran a una persona, però encara més gent no n'infectarà cap persona!

³ Hi ha gent que diu: sóc sa, fort i jove, per tant no puc tenir complicacions. Això és fals! Podem tenir una predisposició genètica a tenir complicacions greus, tinguem l'edat que tinguem!
(<https://www.investigacionyciencia.es/noticias/existe-una-predisposicion-genetica-a-padecer-la-covid-19-18636>)

El nostre experiment

Entre tots farem d'ordinador! Simularem la dinàmica d'una hipotètica malaltia infecciosa com la COVID. Cadascun i cadascuna de vosaltres tindrà 3 cartolines, una **verda**, una **vermella** i una **blava**. La **verda** indicarà que som persones susceptibles: persones sanes que podem emmalaltir. La cartolina **vermella** que som persones infeccioses, amb capacitat de contagiar altres persones. I la cartolina **blava** correspondrà a les persones que ja han superat la malaltia i han aconseguit immunitat. En el segon experiment afegirem la tant esperada vacuna: gent amb una cartolina **grisa**.

Mesurem!

Abans de començar dirigiu-vos cap a la zona d'entrada del nostre particular ordinador: una graella de 7x7 caselles! Allà us repartiran quatre cartolines:

- **Una de color verd:** per a quan estiguen sanes i sans.
- **Una de color vermell:** per a quan pugueu transmetre la malaltia
- **Una de color blau:** per quan ja heu passat la malaltia
- **Una de color gris:** per quan estiguen vacunades i vacunats

Un cop tingueu les quatre cartolines cal que entreu a l'ordinador i ocupeu una de les caselles que veureu marcades a terra.

Cal també que escolliu un membre de l'alumnat que decidirà quina persona s'infecta i es vacuna al principi del joc. L'anomenarem àrbitre. També contarà la gent que s'infecta cada dia. Aquesta persona pot ser diferent en cada joc.

El "joc" es desenvolupa per torns que representen dies. L'inici i el final de cada torn es marca amb tocs de botzina. Quan acaba cada torn farem un recompte de les persones que s'han infectat.

Comencem l'experiment 1 !

Comencem totes i tots sans... excepte una persona que escollirà la monitora o monitor. Cada persona **infectada** podrà infectar només a una persona **sana** al dia. Per altra banda, només estarà infectada durant dos dies (dos torns)... després passarà a estar recuperada o recuperat. Per tant:

- Totes i tots tindrem la cartolina verda a la mà, perquè tothom està sa.
- L'estudiant que heu escollit com a *àrbitre* escollirà una persona a l'atzar i l'infectarà. En aquest moment la persona que ha escollit l'àrbitre substitueix la cartolina verda per una de vermella.
- Sona la botzina. Comença un dia, comenà un torn:
 - **Les persones amb cartolina vermella** decidiu **una de les quatre** persones que son al vostre voltant **sana** i li ensenyeu la cartolina vermella. L'heu infectat! La persona que decidiu ha de canviar la seva cartolina verda per una de vermella. Si no n'hi ha cap que pugueu infectar, no feu res.
 - Això ho podeu fer només durant **dos torns**. Al tercer torn heu de canviar la vostra cartolina vermella per una de blava. Des d'aquest moment, no podeu infectar ni ser infectats.
 - **Les persones amb cartolina verda**: si una persona amb cartolina vermella us l'ensenya, cal que canvieu la vostra cartolina per una de vermella del terra. Als següents dos torns actuareu com hem dit per les persones infectades.
- Sona la botzina. Acaba el dia... i el torn
 - **Els que tingueu la cartolina vermella** l'aixequen clarament. L'àrbitre contarà les persones infectades i les apuntarà a la pissarra. No oblideu apuntar els nombres de la pissarra abans de marxar de la prova. Els podeu escriure a les taules que trobareu més endavant.

L'experiment finalitza quan no quedin persones infeccioses, és a dir, cap amb cartolina vermella.

Comencem l'experiment 2 !

Jugarem dos cops en aquest experiment. Comencem totes i tots sans... i alguns també vacunats. Les persones vacunades serà d'un 30% la primera ronda, i un 60% la segona. Cada persona **infectada** podrà infectar només a una persona **sana** al dia, però no a qui estigui **vacunada** o **vacunat**. Per altra banda, com abans, els que s'infecten només ho seran durant dos dies... després passaran a estar **recuperades** o **recuperats**. Per tant:

- Totes i tots tindrem la cartolina **verda** a la mà, puix que tothom està sa. Les altres les podeu deixar a terra.
- La monitora o el monitor vacunarà algunes persones (un 30% en el primer joc, un 60% en el segon aproximadament). Les persones vacunades canviaran la seva cartolina verda per una de gris.
- La monitora o el monitor infectarà ara una persona a l'atzar. Com abans, aquesta persona deixa la cartolina verda a terra i la substitueix per una de vermella.
- Sona el xiulet. Comença un dia.
 - **Les persones amb cartolina vermella** decidiu una de les quatre persones del vostre voltant **sana**. La persona que decidiu canvia la seva cartolina verda per una de vermella. Fixeu-vos que ara no podeu infectar ni a la gent **vacunada** ni als **recuperats**!
 - Com abans, podreu infectar només durant **dos torns**. Al tercer torn heu de canviar la vostra cartolina vermella per una de **blava**.
 - **Les persones amb cartolina verda**: si una persona amb cartolina vermella us infecta, cal que agafeu la cartolina vermella.
- Sona la botzina. Acaba el dia... i el torn
 - Aixequeu les cartolines clarament. L'àrbitre contarà les persones **infectades**. Les apuntarà a la pissarra. No oblideu apuntar els nombres d'aquest segon experiment abans de marxar de la prova. Els podeu escriure a la taula al nostre guió.

Analitzem!

Experiment 1: sense vacuna

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
Infectats									

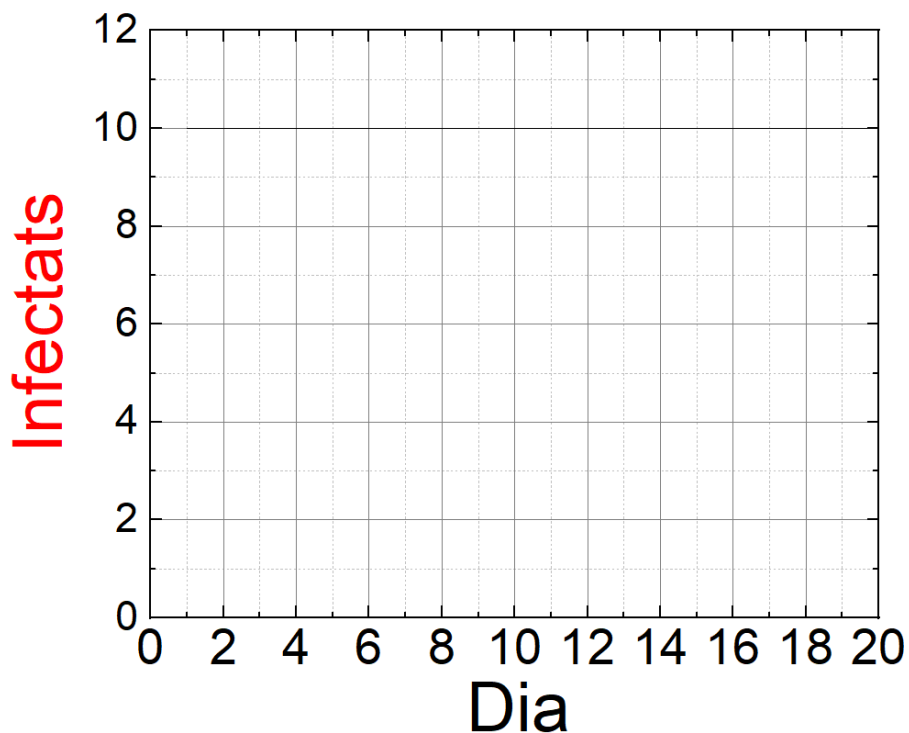
Experiment 2: 30% vacunació

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
Infectats									

Experiment 3: 60% vacunació

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
Infectats									

Un cop heu acabat els vostres experiments podeu fer una gràfica del nombre d'infectats cada dia en els tres casos. Per diferenciar-los podeu utilitzar bolígrafs de colors, o fer diferent tipus de línies (amb punt, contínues i amb guions, per exemple).



- Com afecta la vacunació al progrés de la malaltia?
- Què és la immunitat de grup o de ramat?

Vull saber més!

Un cop sigueu a casa podeu repetir els experiments utilitzant un full de càlcul o fins i tot un tauler d'escacs. Us caldran fitxes dels mateixos colors que en aquesta activitat. Podeu estudiar molts casos, i fins i tot simular la mobilitat de la gent. Per fer això, després de cada torna podeu canviar les fitxes de lloc.

En una epidèmia real tot és molt més complicat, però si aconseguim desenvolupar models matemàtics que reproduïen la dinàmica real observada podem preveure quin serà el comportament en els dies vinents, o podem preveure quin serà l'efecte de la vacunació. Els models matemàtics com a física o a altres disciplines ens serveixen per entendre i per preveure.

Podeu ampliar la informació sobre malalties infeccioses en aquests webs:

- <https://www.who.int/emergencies/diseases/en/>
- <https://www.cdc.gov/globalhealth/ntd/index.html>

La informació actualitzada de les dades de la COVID les podeu trobar al web del grup de recerca de la UPC que ha creat aquesta activitat, el BIOCOMSC:

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



Aquesta activitat ha estat preparada amb el suport del grup de recerca en *Biologia computacional i Sistemes complexos* de la *Universitat Politècnica de Catalunya*. Aquest grup fa docència d'epidemiologia matemàtica al grau d'*Enginyeria de Sistemes Biològics* i al grau d'*Enginyeria Física*.

No totes les malalties infeccioses són la COVID!!!!

En la sessió que fem avui no hem pogut parlar de cada una de les malalties infeccioses importants, però sí que podem explicar que és absolutament imprescindible conèixer-les. Ens cal saber quines malalties infeccioses formen part de la nostra vida quotidiana i conèixer quines mesures cal prendre per evitar la seva transmissió.

SALUT

“¿Què és la gonorrea?”: els joves no en saben prou sobre sexe

L'educació sexual s'oblida de les infeccions de transmissió sexual

GEMMA GARBIDO GRANGER
BARCELONA



Els joves no en saben prou sobre les infeccions de transmissió sexual (ITS). Tot i que la majoria sí que han sentit a parlar del VIH, els adolescents no tenen presents la resta d'infeccions que poden contagiar-se per via sexual, com ara les clamídiides -les més habituals-. En l'última abdicada els casos de sífilis s'han multiplicat per sis i els de gonorrea per set, segons dades de la Xarxa de Vigilància Epidemiològica de Catalunya. L'auge de les ITS s'amaga darrere les pràctiques sexuals de risc -sense fer servir preservatiu o haver consumit abusivament alcohol o drogues prèviament-, la disminució de l'edat d'inici de les relacions -que se situa en els 15 anys-, i el fet de tenir múltiples parelles. El grup poblacional més vulnerable són els adolescents: comencen a flirtejar amb el sexe, fan servir els mètodes anticonceptius de forma inadequada i no identifiquen quines pràctiques sexuals també suposen un perill per a la seva salut.

El barri barcelonès del Raval és la mostra, a petita escala, de l'augment d'aquesta problemàtica. Ciutat Vella és el districte amb més joves -un 10% de la població té entre 15 i 24 anys- i el Raval presenta la taxa més alta de VIH, sífilis i gonorrea de Barcelona. Un estudi de l'Institut Universitari d'Investigació en Atenció Primària (IDIAP) en què van participar 211 alumnes d'ESO i batxillerat

Els adolescents s'incien més d'hora en el sexe i tenen poca consciència de la necessitat de protegir-se. [cerv](#)

30 LA VANGUARDIA TENDÈNCIES

Pruebas rápidas y discretas para frenar contagios sexuales

Drassanes atiende 25 casos diarios y el 16% da positivo

ANA MACPHERSON
Barcelona

Questionario básico y discreto (sólo identificación) sobre prácticas sexuales de riesgo pero no síntomas de enfermedad; un kit para tomarse uno mismo pruebas vaginales o de la uretra (hombres), rectales y de la faringe; entrega inmediata en el laboratorio situado allí mismo y a esperar un mensaje en el móvil o un correo electrónico que puede tardar una hora. Si hay posibilidades de VIH o sífilis, también les hacen muestra de sangre. Sin cita previa, sin papeles.

El sistema, pionero en España e inspirado en un servicio semejante de Londres que atiende a 400 personas cada día, lo ha puesto a prueba el servicio de enfermedades infecciosas de Vall d'Hebron en un centro abierto en Drassanes, donde también se atienden las enfermedades del viajero. El plan piloto que ha atendido a 3.600 personas en un año ha sido un éxito, así que siguen y amplían para atender al doble de personas.

"Hay dos claves sólo atendemos a personas asintomáticas, porque el servicio exprés pretende precisamente evitar que, por no tener síntomas, se vaya contagiando a las parejas sexuales", explica el responsable del programa y del servicio de Infecciones de Vall d'Hebron, Benito Almirante. "Y si dan positivo les damos tratamiento inmediato: en 24 o 72 horas. Sin tener que ir al CAP, pedir hora, ni esperar."

Cuando dan positivo al VIH, el 2,6%, "aceleramos la visita porque necesita mucho apoyo experto. Es posible que hayan pensado alguna vez en ese riesgo, pero dar positivo a una infección crónica, y que puede afectar mucho a tu vida, no es fácil de afrontar. Las otras infecciones -gonorrea - 33,7%, clamidia 47,6%, sífilis 16,1% - se curan con antibiótico".

Almirante explica otro resultado especialmente positivo: "Las mujeres por primera vez tienen acceso a un servicio de prevención de este tipo. En el plan piloto son el 26,3% de las personas atendidas. Es importante, porque las mujeres pueden permanecer infectadas y asintomáticas meses, algo que no pasa en los hombres, por lo que pueden contagiar sin ser en absoluto conscientes de ello".

No piensa sólo en mujeres que tienen múltiples parejas por prostitución. "Entre las personas que vienen hay muchas jóvenes que simplemente han tenido un fin de semana con alguna práctica de riesgo. Hasta una".

La gran mayoría de los que se someten a las pruebas da negativo, pero la rapidez -todo en el día y avisados por un mensaje- ayuda a que muchos de los usuarios sean conscientes de que vale la pena repetir cada tres meses si los riesgos se mantienen.

"Es muy pronto, necesitamos más años de perspectiva, pero estamos convencidos de que este servicio exprés en las pruebas y el tratamiento de máxima confidencialidad tendrá impacto en la extensión de las enfermedades de transmisión sexual", apunta Almirante. Los datos sólo aparecerán en la historia clínica si da positivo a alguna infección, porque es obligatorio.●

El programa pionero de Vall d'Hebron acerca por primera vez este servicio a mujeres jóvenes

En particular és important conèixer que són les ITS (infeccions de transmissió sexual) i com s'ha d'actuar per protegir-se.

És molt important també descobrir quina és la prevalença de malalties infeccioses a diferents països del món. Conèixer la realitat d'un món desigual és el primer pas per entendre la necessitat de treballar per fer minvar les desigualtats.

Us proposem aquest exercici per tal que us familiaritzeu amb algunes malalties infeccioses. Busqueu a la xarxa, utilitzant el mòbil o l'ordinador, la informació necessària per relacionar les malalties indicades a la pàgina següent amb les imatges o textos.

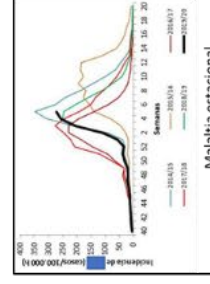
- RELACIONA**
- COLERA
 - COVID-19
 - EBOLA
 - DENGUE
 - GRIP
 - HÈPATITIS B
 - MALALTIA DE CHAGAS
 - MALÀRIA
 - POLIOMELITIS
 - TUBERCULOSI
 - VEROLA
 - VIH/SIDA
 - BRONQUIOLITIS / VIRUS DE RESISTÈNCIA SINCITAL



10



11



12



13



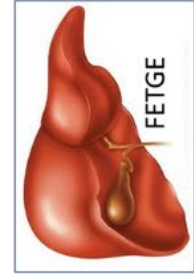
6

Malaltia erradicada

7



8



9

El 2018 van morir 1.5 milions de persones

1



2

S'estima que el 2019 va haver-hi 229 milions de casos

3



4

Immunodeficiència

5