

Aquí s'inquieta Nevares

Resum—Quan Lalo Nevares entrà al cementiri, no tingué gens present un dels riscos més terribles de viure en un camp de morts, a saber, l'apocalipsi zombi. En aquest article desenvolupem algunes estratègies que la comunitat podria emprendre davant d'una possible eventualitat com aquesta.

Acknowledgements—A l'Helene Weigang, que em va introduir en el tenebrós món de la dinàmica zombi.

Corrien els anys cinquanta quan, durant el seu exili a Mèxic, Pere Calders va escriure el conte Aquí descansa Nevares, on descriu com una comunitat indígena que viu en barracons decideix ocupar el cementiri durant una temporada de pluges que no els deixava fer vida normal sota el lideratge de Lalo Nevares. Els protagonistes, en una mostra de deixadesa imperdonable, no contempen en cap moment la possibilitat que els morts s'aixequin de les tombes i es produeixi un apocalipsi zombi. En aquest article esmenem l'error de l'autor en qüestió i posem sobre la taula consells per evitar una catàstrofe sense precedents en la història de la humanitat.

L'any 2009 Philip Munz, Ioan Hudea, Joe Imad i Robert J. Smith desenvolupen el model epidemiològic que anomenarem SIZD (susceptible-infectat-zombi-difunt, originalment SIZR) per tractar amb l'apocalipsi zombi a l'article [1]. Aquest model es resumeix en un sistema dinàmic no lineal que descriurem a continuació.

El model (veure Figura 1) considera només el nombre d'individus en cada situació ignorant la seva distribució geogràfica, descrivint en cada instant de temps el nombre de transaccions que es produeixen. Aquí considerarem la versió discreta on cada interval de temps es correspon a un dia (sense pèrdua de generalitat). Així, ignorant naixements i morts naturals ja que l'apocalipsi zombi és breu i aquests tindrien poca influència en el resultat final, el sistema es resumeix en:

- 1) Els nombres S, I, Z, D es refereixen a Sans, Infectats, Zombis i Difunts.
- 2) En trobar-se un zombi i un individu sa, el zombi pot infectar l'humà amb probabilitat $\beta < 1$ i l'humà pot liquidar el zombi amb probabilitat α . Així cada dia βSZ individus sans esdevenen zombis i moren αSZ zombis.
- 3) Els infectats esdevenen zombis amb probabilitat ρ . Cada dia, ρI infectats esdevenen zombis.
- 4) Els morts ressusciten amb probabilitat ζ , així que cada dia ζD morts es tornen zombis.

Sota aquests preceptes, els autors troben que l'únic esdevenir de la comunitat és l'extinció.

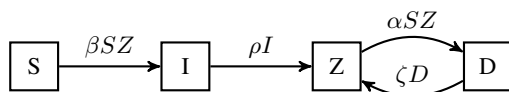


Figura 1. Model SIZD: infecció latent, resurrecció permanent.

En aquest text fem tres canvis al model. En primer lloc

fem una esmena al tercer punt, doncs considerem que el nombre de zombis també té influència en el nombre de ressuscitats, de manera que substituïm el punt 4 per

4'. Els morts ressusciten amb probabilitat ζ en ser prop d'un zombi, així que cada dia ζDZ morts es tornen zombis.

A més, afegim dos canvis de tipus estratègic. El primer és donar l'opció als humans de deixar els cadàvers inservibles, per exemple, cremant-los. Així, apareix una nova categoria C corresponent als Cremats. Aleshores incorporem dues lleis:

- 5) Els humans cremen els cadàvers amb probabilitat γ i els zombis amb probabilitat μ . En el model sense cooperació, considerarem que els infectats es desenten de la tasca, mentre que en el model amb cooperació considerarem que els infectats participen de la lluita activament.
- 6) Per incentivar la cooperació dels infectats, els donem esperança: els humans sans curen als infectats amb probabilitat ν .

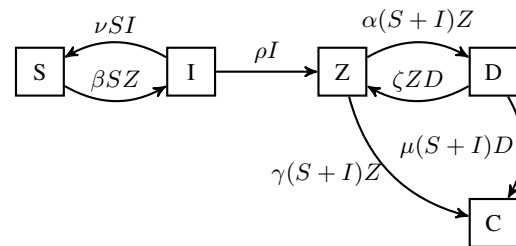


Figura 2. Model SIZDC: crema de cadàvers i cura d'infectats.

Resumint, si un dia tenim (S, I, Z, D, C) individus, l'endemà tindrem

$$\begin{aligned} S' &= S - \beta SZ + \nu SI \\ I' &= I + \beta SZ - \nu SI - \rho I \\ Z' &= Z + \rho I + \zeta ZD - (\alpha + \gamma) \tilde{S}Z \\ D' &= D - \zeta ZD + \alpha \tilde{S}Z - \mu \tilde{S}D \\ C' &= C + \mu \tilde{S}D + \gamma \tilde{S}Z, \end{aligned} \quad (1)$$

on escrivim $\tilde{S} = S$ en el model sense cooperació dels infectats i $\tilde{S} = S + I$ en el model amb cooperació.

Per començar aquest estudi rigorós, fem unes simulacions per tal d'aconsellar Lalo Nevares com organitzar la comunitat per fer front a la situació. Degut a que es tracta d'una població petita i, per tant, l'aproximació contínua no està justificada, afegim una component aleatòria: el nombre d'habitants que canvien d'estat es dona per distribució uniforme amb màxims indicats a la Figura 2. En cada experiment farem 60 simulacions, suposant que una comunitat de 999 habitants entra a un cementiri amb mil cadàvers i un zombi al començar el procediment. Prenem paràmetres $\beta = \zeta = \alpha = \gamma = \mu = 0,01$ i $\rho = 0,5$. Notem que, com que en cada interval de temps el nombre de canvis es calcula amb una distribució

uniforme entre 0 i el valor donat, cada probabilitat serà aproximadament la meitat del que indica el paràmetre corresponent.

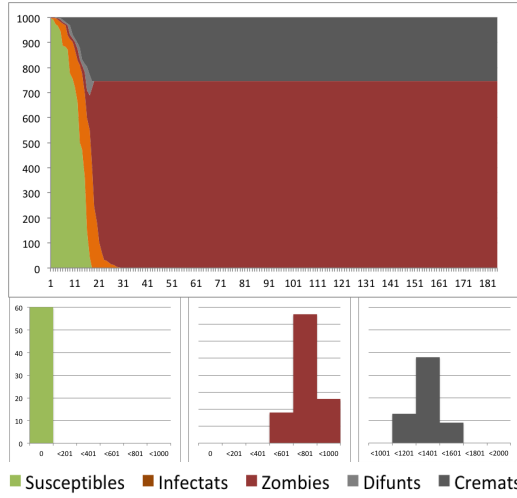


Figura 3. Evolució típica del cas sense ajuda ni cura ($\nu = 0$) i histograma de 60 experiments.

En primer lloc, si no curem els malalts ($\nu = 0$) i els infectats no cooperen ($\tilde{S} = S$), ens trobem amb l'extinció en totes les simulacions on el darrer supervivent dura prop d'un mes. La població final de zombies és molt nombrosa, vora els 700 exemplars (veure Figura 3).

Si aconseguim la cooperació dels infectats en la lluita contra els zombies ($\tilde{S} = S + I$) obtenim els mateixos resultats però la població zombi al final de l'apocalipsi és molt més reduïda (veure Figura 4). Si el lector considera positiva aquesta dada, convé que es preguntui el perquè de la seva zombifòbia.

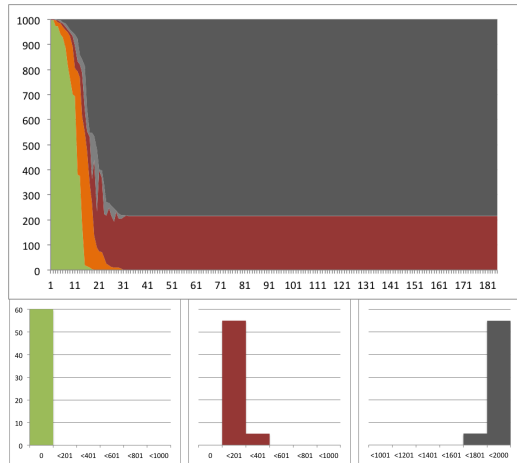


Figura 4. Cas amb ajuda però sense cura ($\nu = 0$).

Si afegim la cura, canvia clarament la situació encara que els infectats no col·laborin (veure Figura 5). Posant $\nu = 0.005$, la població sobreviu en el 89% dels casos contra un 11% de casos d'apocalipsi zombi. Podem esperar la supervivència de vora 600 membres de la comunitat, mentre que, en els pocs casos d'apocalipsi, la població zombi pot arribar en alguns casos a ser de 900 exemplars, tot i que és més comú que es situï vora els 400.

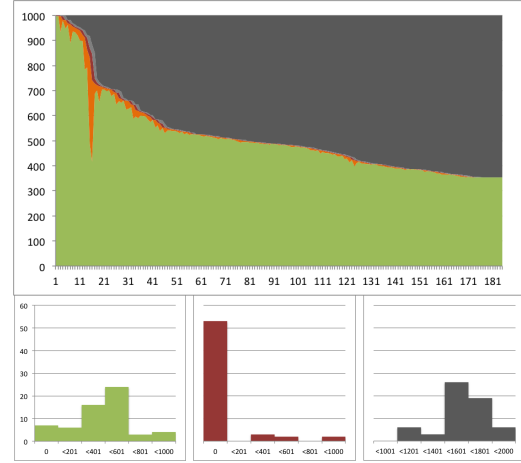


Figura 5. Cas sense ajuda però amb cura ($\nu = 0,005$).

Finalment, en cas d'aconseguir la participació activa dels infectats en la lluita contra els zombies, la taxa de supervivència augmenta fins al 95% (veure Figura 6). Els casos de supervivència majoritària augmenten, i en cas d'apocalipsi zombi, l'extinció es produeix en un o dos mesos, amb una població zombi final rondant els 50 exemplars.

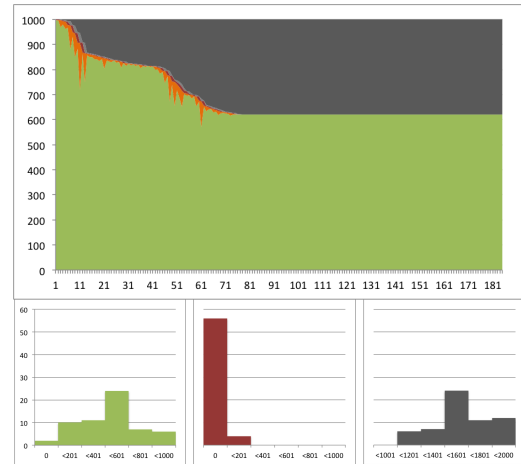


Figura 6. Cas amb ajuda i cura ($\nu = 0,005$).

Matemàticament, en un model epidemiològic d'aquestes característiques, el primer que ens interessa és conèixer els punts d'equilibri, és a dir, aquells on no hi haurà canvis d'un dia per l'altre. Això és quan

$$\begin{aligned} 0 &= -\beta SZ + \nu SI \\ 0 &= \beta SZ - \nu SI - \rho I \\ 0 &= \rho I + \zeta ZD - (\alpha + \gamma)\tilde{S}Z \\ 0 &= -\zeta ZD + \alpha\tilde{S}Z - \mu\tilde{S}D \\ 0 &= \mu\tilde{S}D + \gamma\tilde{S}Z. \end{aligned}$$

Suposant que $\beta, \rho, \zeta, \alpha, \gamma, \mu > 0$, resten tres punts d'equilibri: $(S, 0, 0, 0, \tilde{C})$ (supervivència), $(0, 0, 0, \tilde{D}, \tilde{C})$ (holocaust) i $(0, 0, \tilde{Z}, 0, \tilde{C})$ (apocalipsi zombi). Respecte al model SIZD hi ha una primera gran millora: al considerar l'opció de cremar cadàvers, apareixen punts d'equilibri on no tots els habitants inicials han sobrevis-

cut, de manera que es pot reaccionar després del primer atac amb opcions de controlar l'epidèmia.

Però les novetats no acaben aquí. Tot seguit analitzem els punts d'equilibri. La matriu jacobiana del moviment és

$$\begin{bmatrix} -\beta Z + \nu I & \nu S & -\beta S \\ \beta Z - \nu I & -\rho - \nu S & \beta S \\ -(\alpha + \gamma)Z & \rho - (\alpha + \gamma)Z & \zeta D - (\alpha + \gamma)(S + I) \\ \alpha Z - \mu D & \alpha Z - \mu D & -\zeta D + \alpha(S + I) \\ \gamma Z + \mu D & \gamma Z + \mu D & \gamma(S + I) \\ \dots & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 \\ \dots & \zeta Z & 0 \\ \dots & -\zeta Z - \mu(S + I) & 0 \\ \dots & \mu S & 0 \end{bmatrix}.$$

En evaluar el cas d'apocalipsi zombi obtenim que el primer menor 4×4 de la matriu és

$$\begin{bmatrix} -\beta \bar{Z} & 0 & 0 & 0 \\ \beta \bar{Z} & -\rho & 0 & 0 \\ -(\alpha + \gamma)\bar{Z} & \rho - (\alpha + \gamma)\bar{Z} & 0 & \zeta \bar{Z} \\ \alpha \bar{Z} & \alpha \bar{Z} & 0 & -\zeta \bar{Z} \end{bmatrix}.$$

(hem obviat les darreres fila i columna perquè no tenen cap paper en el còmput final). Els valors propis d'aquesta matriu són els zeros de $-\det(J - xI) = (\beta \bar{Z} + x)(\rho + x)(\zeta \bar{Z} + x)x^2$, tots ells negatius, de manera que es tracta d'un equilibri estable.

En l'escenari d'holocaust, ens trobem que el menor de la matriu és

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\rho & 0 & 0 \\ 0 & \rho & \zeta \bar{D} & 0 \\ -\mu \bar{D} & -\mu \bar{D} & -\zeta \bar{D} & 0 \end{bmatrix}.$$

En aquest cas el polinomi característic és $x^3(\rho + x)(-\zeta \bar{D} + x)$ que té un valor propi positiu i és, per tant, inestable. Així aquest escenari no es donarà a la pràctica: en cas d'extinció humana sempre hi haurà zombis per a celebrar-ho.

L'escenari que varia és el de supervivència. En el model SIZD, degut a que la taxa de resurrecció no depèn de si hi ha zombis o no, aquest punt és molt inestable. Al primer cobriment de cor s'esdevé l'apocalipsi. En el model present, no obstant, degut a la condició 4', trobem que aquest punt pot ser estable. Efectivament, el menor ara és

$$\begin{bmatrix} 0 & \nu \bar{S} & -\beta \bar{S} & 0 \\ 0 & -\rho - \nu \bar{S} & \beta \bar{S} & 0 \\ 0 & \rho & -(\alpha + \gamma)\bar{S} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \bar{S} & -\mu \bar{S} \end{bmatrix}.$$

El polinomi característic és

$$x^2(\mu \bar{S} + x)(x^2 + ((\alpha + \gamma)\bar{S} + \rho + \nu \bar{S})x + \rho \bar{S}(\alpha + \gamma - \beta) + \nu(\alpha + \gamma)\bar{S}^2)$$

i les seves arrels tenen part real negativa sempre i quan $\rho(\alpha + \gamma - \beta) + \nu(\alpha + \gamma)\bar{S} > 0$. Dit d'una altra manera, quan els humans són més mortífers que els zombis l'escenari de supervivència és estable encara que no hi hagi cura, és a dir, si s'eliminen zombis, infectats i difunts, no es produeixen més contagis i es poden controlar els petits brots. En cas de tenir cura per

als infectats, l'estabilitat de l'escenari de supervivència millora i com més supervivents hi ha, més estable és l'escenari.

Per acabar, resumim les estratègies que ha d'adoptar la comunitat per maximitzar les possibilitats de supervivència. Com hem vist, un dels factors clau a nivell qualitatiu és la crema de cadàvers i zombis. A nivell pràctic pot ser recomanable fer dos equips, un dedicat a la matança de zombis i un altre a la crema de cadàvers. En segon lloc, és imprescindible disposar d'una cura efectiva d'infectats. En les condicions de depauperació de la comunitat estudiada és probable que només es compti amb l'amputació de membres infectats com a eina de defensa davant la infecció (tècnica Singaya de Jackson, veure [2]). A part, el desconeixement mèdic del fenomen fa poc probable que es pugui elaborar una medicina o vacuna en un període tant curt de temps, de manera que pot resultar efectiu dur molts medicaments diferents i anar provant. En cas de no ser efectius els medicaments ni l'amputació, es recomana procedir a la crema d'infectats malgrat pugui resultar dolorós per prevenir que l'epidèmia s'extengui ràpidament fora del cementiri, pura solidaritat amb la resta de la humanitat a la qual caldrà temps per a preparar la defensa.

A nivell quantitatiu s'observa la importància de mantenir els infectats amb la moral alta i disposats a col·laborar. Convé doncs que tinguin la perspectiva de la recuperació (mentir serà considerat un mal menor en aquest cas) i que no es sentin identificats amb la seva futura espècie abans d'hora. A tall d'exemple queda justificat posar música a tot volum o mantenir relacions íntimes sempre que sigui utilitzant mètodes anticonceptius de barrera. També és evident que cal maximitzar les tasques d'eliminació, especialment les de crema i minimitzar les infeccions sempre que sigui possible.

En entrar a un cementiri, doncs, tots els membres del grup han de disposar d'armes tallants, eines de crema tipus llançafomes i combustible. Només entrar convé cremar tots els cadàvers per si de cas i, en cas que es vegi algun desconegut movent-se de manera estranya, eliminar-lo sense pietat. Si es confirma que és un zombi, evitar-hi el contacte si no es disposen de garanties d'eliminació. Si algú fa mala cara, se li tallen totes les extremitats, se'l dopa fortament amb els medicaments que es consideri oportú i llestos. Per maximitzar les garanties futures, es pot dotar cada un dels infectats d'un diari on s'expliqui el tractament al que ha estat sotmès, ja que en cas de ser exitós pot ser interessant que els subjectes el recordin. Si s'observa que els zombis devenen despistats o desatenen els diaris, es pot considerar tatuar-los el tractament per tal que quedi constància. I si es disposa de temps, sobretot cal trucar al 012.

REFERÈNCIES

- [1] Philip Munz, et al. *When zombies attack!: Mathematical modelling of an outbreak of zombie infection*, Infectious disease modelling research progress 4 (2009): 133-150.
- [2] <http://www.imdb.com/title/tt0103873/>