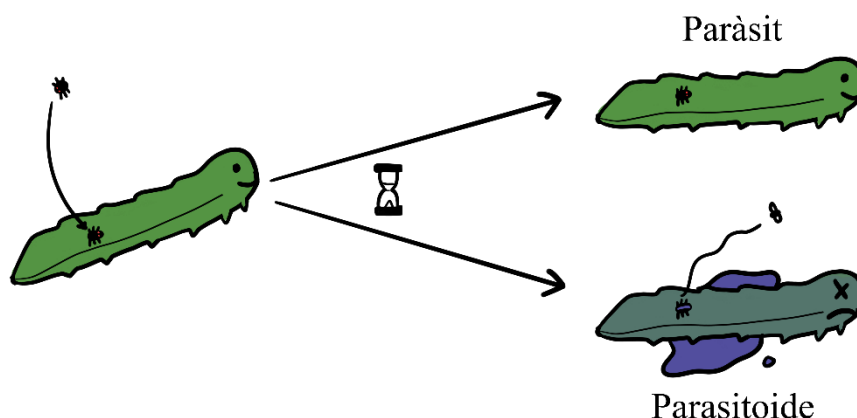


## Manipuladors sense escrúpols, zombis i realitat.

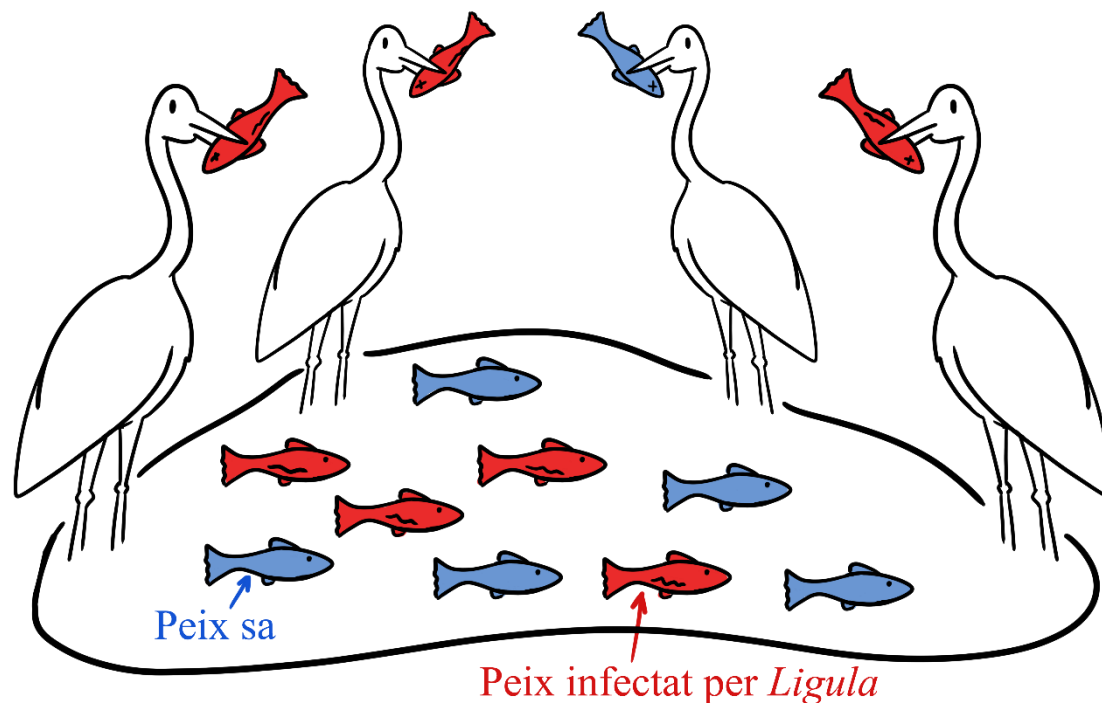
Durant la darrera dècada hem viscut l'ascens a la fama d'una temàtica de terror que ha fet triomfar sèries, pel·lícules i videojocs per igual: Estem parlant dels zombis! Aquestes criatures normalment es representen com a violents cadàvers reanimats, carents d'emocions, faltats de personalitat i sempre a la cerca de carn humana per infectar, transmetent la seva condició a tot aquell qui aconsegueixen mossegar.

Si bé tots som conscients que aquestes són obres fictícies, imaginatives i representants d'un perill irreal, els mecanismes que hi ha al darrere d'aquestes criatures no estan tan lluny de la realitat. De fet, podem simplificar el fenomen de zombificació i definir-lo com a una alteració irreversible del comportament. Amb aquesta premissa en ment, hi ha una llarga llista d'éssers vius reals que podem proposar per a fer de protagonistes al següent "hit" televisiu. Tals éssers vius cauen dins de la categoria que anomenem com a **parasitoides**; un subgrup dins dels paràsits convencionals que tenen la particularitat de no importar-lis si el seu hoste sobreviu, o no, al procés d'infecció, i s'aprofiten d'aquest hoste per millorar la seva supervivència i assegurar la reproducció.

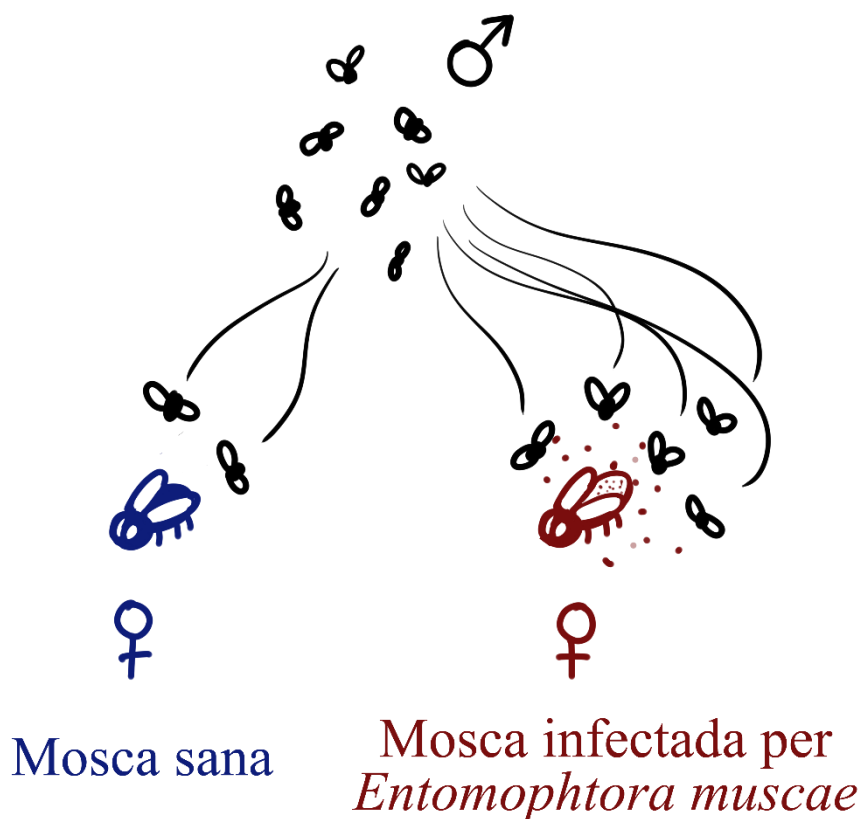


Una definició més clàssica remarcaria que un parasitoide és un organisme que viu la major part de la seva vida en o sobre un sol amfitrió, al qual sol matar al final del seu desenvolupament. A diferència dels paràsits, que poden viure sobre o dins d'un amfitrió durant tota la seva vida, molts cops passant desapercebuts. Els parasitoides poden ser insectes, com ara vespes, mosques o escarabats, i s'utilitzen sovint com a control biològic per regular poblacions de plagues d'insectes en l'agricultura. De fet, acostumen a ser les larves d'aquests artròpodes les que es desenvolupen nodrint-se d'un hoste.

En aquest article veurem diversos exemples de parasitoides capaços d'alterar el comportament de la seva víctima. No obstant, per introduir-nos al món dels manipuladors de comportament primer ens remuntarem a un dels primers casos descrits a la literatura científica, en el que el protagonista no acabarà amb la vida del seu hoste, però sí que ajudarà al botxí a fer la seva feina. Al voltant dels anys 50, l'ecòleg Willem van Dobben va notar que les carpes infectades per un cuc intestinal del gènere *Ligula* eren més fàcilment capturades per aus ictiòfagues (que s'alimenten de peixos). *Ligula intestinalis* necessita de tres hostes diferents per a completar el seu cicle vital, i precisament el seu hoste definitiu (des d'on pondrà els ous) es tracta d'una au. Així doncs, els indicis apunten a que algun canvi en el comportament de les carpes infectades per *Ligula intestinalis* les feia més susceptibles a ser capturades pel depredador, facilitant així que el paràsit pogués infectar fàcilment a l'ocell.

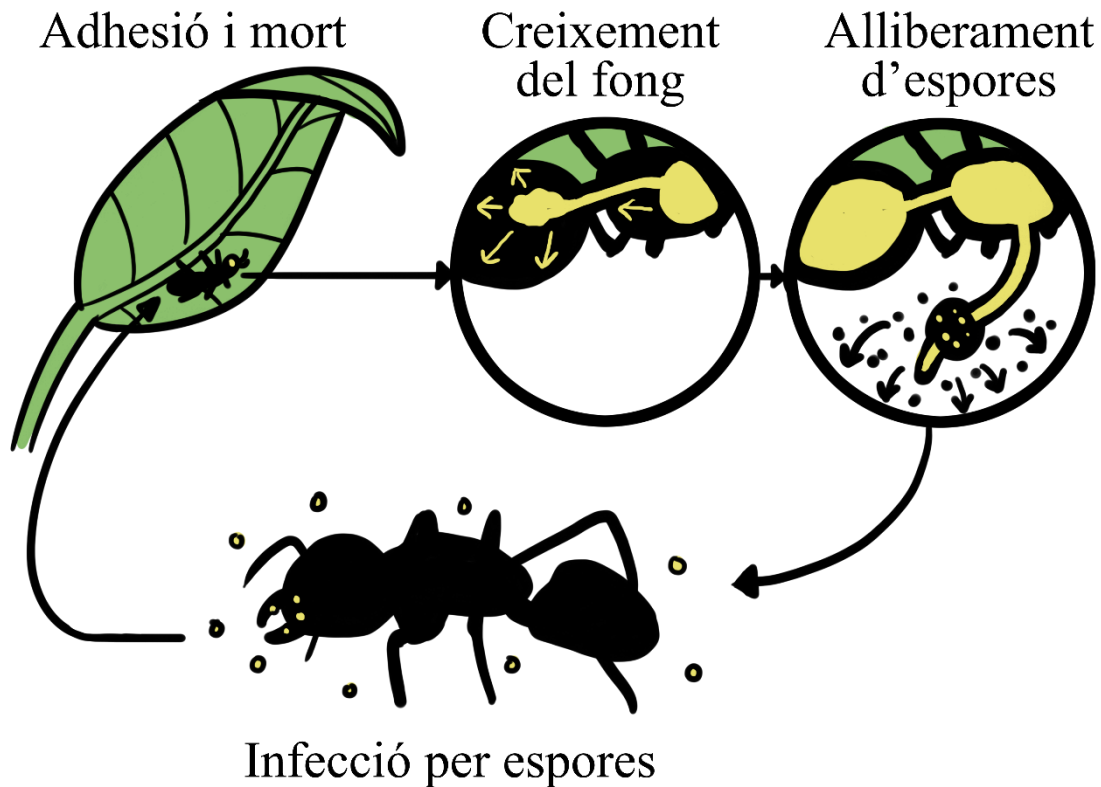


Un altre exemple senzill de manipulació del comportament (aquest cop, indirectament) el trobem en el fong *Entomophthora muscae*. Quan aquest fong entra en contacte amb una mosca la pot colonitzar, causar-li la mort en uns dies i desenvolupar estructures reproductores per alliberar les seves espores. El que és interessant però, és que un cop la mosca ja és morta el fong segueix estenent-se pels seus teixits interns, causar la inflamació i un canvi d'aparença a l'abdomen de la mateixa mosca. S'ha descrit que els cadàvers de mosques femella infectades amb el fong, atrauen més sexualment els mascles de la mateixa espècie. I amb el contacte íntim, el fong es pot transmetre molt fàcilment!. Tot i que aquest comportament es va descriure en un estudi l'any 1993, han fet falta gairebé 30 anys per demostrar (el passat 2022) que el canvi de comportament era causat per l'alliberament de feromones per part del fong.



I ara que trepitgem el territori dels fongs, què millor que aprofitar l'auge de la sèrie *The Last of Us* per parlar de *Cordyceps*, uns dels més temibles parasitoides alteradors del comportament!

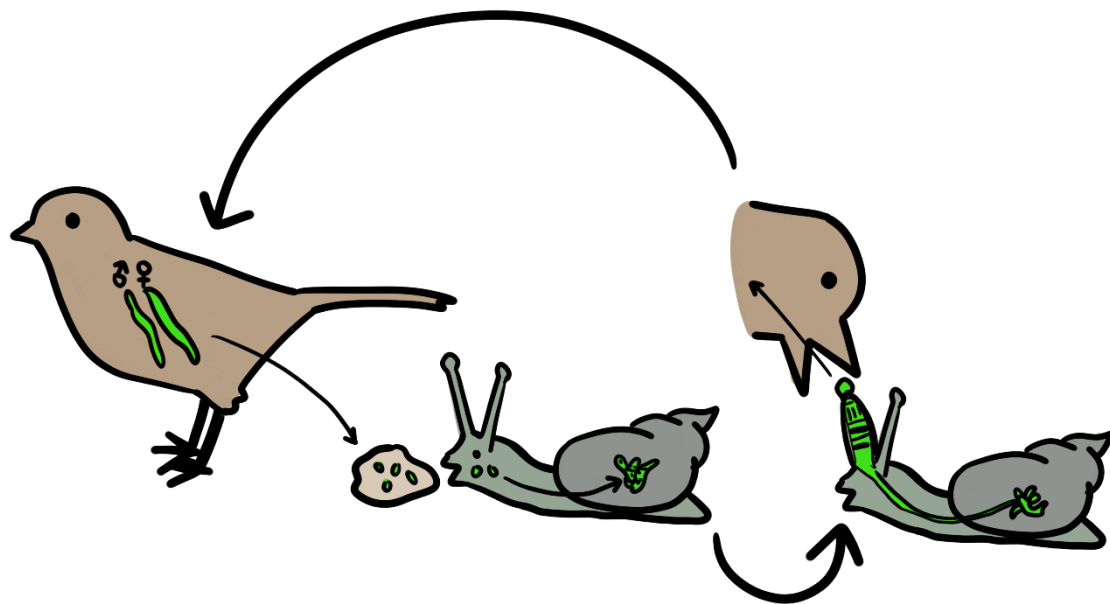
Si comencem pel principi, direm que les espècies del gènere *Cordyceps* es caracteritzen perquè totes són parasitoides d'insectes i altres artròpodes. N'hi ha més de 600 descrites, cadascuna amb una espècie hoste específica amb la que ha co-evolucionat al llarg dels anys. Com s'introdueix a la primera escena de la sèrie de televisió, el miceli (format per hifes, cèl·lules en forma de filament que formen el cos del fong) de *Cordyceps* envaeix i substitueix els teixits de l'hoste infectat, matant l'artròpode i després fent créixer un cos fructífer (els bolets que consumim són els cossos fructífers d'un fong), que és una estructura que emmagatzema i s'encarrega de disseminar les espores. La particularitat del cas és que algunes espècies de *Cordyceps* o *Ophiocordyceps* (un gènere molt semblant) aconseguen durant la infecció assaltar el sistema nerviós de la víctima, desencadenant un comportament erràtic. Aquest comportament no és violent, com s'ensenya a la sèrie de ficció, sinó que més aviat causa una desorientació de la víctima, que s'allunya de la seva colònia i acaba ancorant-se sota les fulles dels arbres amb les mandíbules, que queden totalment bloquejades després de tancar-se. Aquest és el moment on el cos fructífer (bolet) s'acaba desenvolupant, puguent dispersar molt efectivament les espores des d'una posició d'altura.



De fet, no només el comportament de l'hoste afectat no és violent ni pot transmetre la malaltia a humans, sinó que nosaltres ens en podem arribar a beneficiar. Com a curiositat interessant, l'insecte infectat i ben assecat s'ha consumit des de fa més de mil anys en la medicina xinesa. Hi ha estudis pre-clínic que afirmen que alguns dels compostos que produeix el fong poden contribuir al reforç del sistema immunitari, a actuar com a antioxidant, anticancerígen, antidiabètic, anti-fatiga, antiedat, hipocolesterolèmic, hipotensiu, vasorelaxant, antidepressiu, protector de ronyons, i fins i tot afrodisíac! Tot i que moltes de les reivindicacions anteriors s'han fet en base a estudis amb cèl·lules cultivades al laboratori, un producte innovador fet amb cordycepina (una substància produïda pel fong) ha rebut recentment l'aprovació per passar a fase clínica II, en la que s'està estudiant en pacients de melanoma i adenocarcinoma l'eficàcia del medicament.

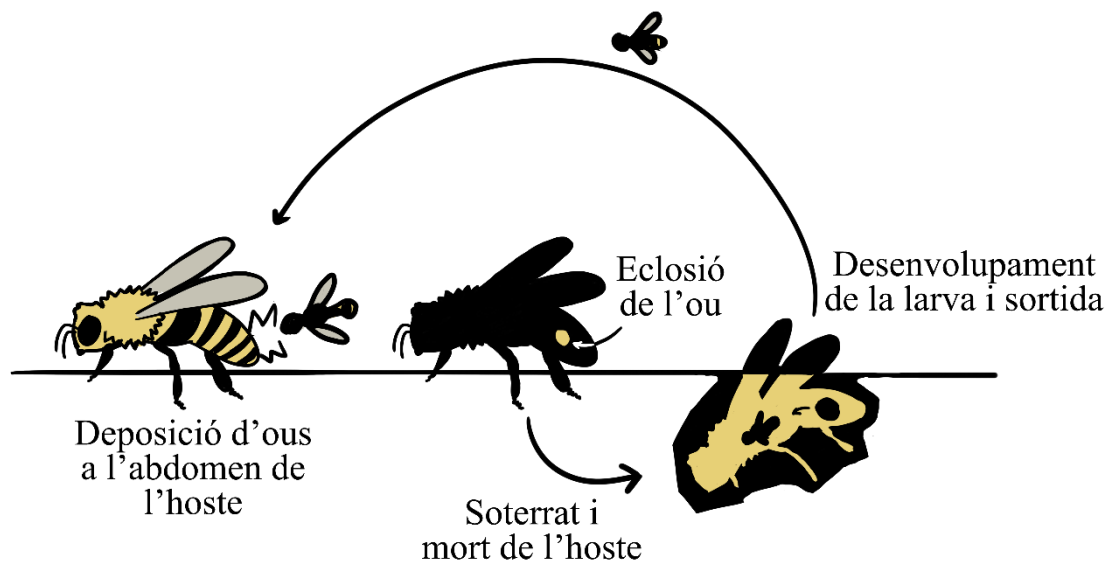
Fins ara hem parlat de manipuladors del comportament que són minúsculs i fins i tot microscòpics en la seva individualitat, però trobem també un ampli ventall de paràsits i parasitoides alteradors de comportament que poden ser distingits a ull nu.

Precisament, en aquest sentit hi ha un paràsit que intenta ser quan més visible millor durant la seva infecció, amb el propòsit que un depredador (i potencial hoste pel paràsit) es mengi la presa on el paràsit es troba. Estem parlant del cuc pla (trematode) *Leucochloridium*, que infecta cargols de terra en una de les fases del seu cicle de vida. Durant el seu pas infectant el cargol, el cuc paràsit creix pel seu interior i es ramifica fins arribar a les antenes dels cargols. Allà, i des de dins, es forma una estructura especial que a mitjançant de pulsacions imita l'aparença d'una eruga. Al mateix temps, el paràsit estimula el cargol a moure's a espais lluminosos i oberts. El resultat és que els tentacles del cargol semblen una eruga en un lloc ben visible pels ocells, atraient als depredadors perquè se n'alimentin, arrancant els ulls infectats del cargol i així fent que el paràsit pugui accedir al seu nou hoste. De fet, molts cops el tentacle del cargol torna a créixer, convertint els cargols infectats en màquines de reproducció pel paràsit. Terrorífic!



**Cicle de vida de *Leucochloridium*:** Tot comença quan els ous del cuc, que es troben a femtes d'ocells, són ingerits per un cargol de terra del gènere *Succinea*. Dins de l'intestí del cargol eclosionen els ous i surten els miracidis, que penetren l'intestí i entren als teixits interns del cargol. Aquests miracidis es transformen en esporocists, que produeixen més esporocists filles, que són bàsicament fàbriques de larves cercàries. Quan les larves ja s'han produït, les mateixes fàbriques, o esporocists, es ramifiquen fins arribar a les antenes/tentacles dels cargols i des de dins fan senyals en forma de línies de colors que van movent-se en un ritme polsant, atraient ocells. Els ocells devoren el cargol o el seus tentacles, i totes les larves (metacercàries) que s'havien produït dins del cargol es poden desenvolupar a l'intestí dels ocells i tancar el cicle, on finalment des de la cloaca aniran alliberant els nous ous.

Hem vist ja un parell d'exemples de casos on el paràsit pot controlar en certa mesura el moviment de l'hoste. Però també trobem mosques parasitoides, que formen larves que infecten abelles i les condueixen a enterrar-se sota terra, fugint de la colònia, per poder arribar a la maduresa adulta en un lloc protegit. De fet aquestes mosques, un cop adultes, adopten una coloració groga i negra, imitant les abelles i vespes.



Finalment, com a darrer exemple citarem els nematomorfs, cucs paràsits que afecten a artròpodes com escarabats, paneroles o grills, i on en aquests darrers s'ha descrit com el paràsit els condueix a llocs amb aigua i els fan saltar sense pensar-s'ho dues vegades, a la seva mort, per a poder facilitar la sortida del cuc per un orifici. Serà a l'aigua on el paràsit llavors es troba còmode per a continuar amb el seu cicle de vida, deixant enrere el cadàver de l'artròpode.

I fins aquí arriba aquest primer article de Xarrup de Ciència, on hem parlat del fascinant món dels paràsits que alteren el comportament dels seus amfitrions. Des de formigues zombi fins a grills suïcides, hem explorat les estranyes i fascinants maneres en què els paràsits poden manipular el comportament dels seus amfitrions. Aquests éssers que controlen la ment poden semblar trets d'una pel·lícula d'horror, però són ben reals, i el seu impacte en el món natural és profund. Així que la propera vegada que estigueu a l'aire lliure, recordeu que no esteu sols. Qui sap quins paràsits poden estar amagats a les ombres?

Mantingueu-vos curiosos, mantingueu-vos segurs i fins la propera entrada de Xarrup de Ciència!

## Referències

- W. H. Van Dobben. The Food of the Cormorant in the Netherlands. *Ardea*, 55(1–2), 1-63 (1952).
- Moller, A.P. A fungus infecting domestic flies manipulates sexual behaviour of its host. *Behavioral ecology and sociobiology*, 33, pp.403-407 (1993).
- Naundrup, A., Bohman, B., Kwadha, C.A. *et al.* Pathogenic fungus uses volatiles to entice male flies into fatal matings with infected female cadavers. *ISME J* **16**, 2388–2397 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41396-022-01284-x>
- Das G, Shin HS, Leyva-Gómez G, Prado-Audelo MLD, Cortes H, Singh YD, Panda MK, Mishra AP, Nigam M, Saklani S, Chaturi PK, Martorell M, Cruz-Martins N, Sharma V, Garg N, Sharma R, Patra JK. Cordyceps spp.: A Review on Its Immune-Stimulatory and Other Biological Potentials. *Front Pharmacol.* 2021 Feb 8;11:602364. doi: 10.3389/fphar.2020.602364.
- Kodama, E.M.; McCaffrey, R.P.; Yusa, K.; Mitsuya, H. (February 2000). "Antileukemic activity and mechanism of action of cordycepin against terminal deoxynucleotidyl transferase-positive (TdT+) leukemic cells". *Biochemical*

- Pharmacology. 59 (3): 273–281. doi:10.1016/S0006-2952(99)00325-1. PMID 10609556.
- Chou, S.M.; Lai, W.J.; Hong, T.W.; Lai, J.Y.; Tsai, S.H.; Chen, Y.H.; Yu, S.H.; Kao, C.H.; Chu, R.; Ding, S.T.; Li, T.K.; Shen, T.L. (October 2014). "Synergistic property of cordycepin in cultivated *Cordyceps militaris*-mediated apoptosis in human leukemia cells". *Phytomedicine*. 21 (12): 1516–1524. doi:10.1016/j.phymed.2014.07.014. PMID 25442260.
  - Pharmaceutical Technology website. <https://www.pharmaceutical-technology.com/data-insights/nuc-7738-what-is-the-likelihood-that-drug-will-be-approved/>
  - Pontoppidan M-B, Himaman W, Hywel-Jones NL, Boomsma JJ, Hughes DP (2009) Graveyards on the Move: The Spatio-Temporal Distribution of Dead Ophiocordyceps-Infected Ants. *PLoS ONE* 4(3): e4835. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004835>
  - Principles of parasitism. An on-line laboratory tutorial in parasitology. University of Alberta. Department of Biological Sciences. <http://www.biology.ualberta.ca/parasites/ParPub/home.htm>
  - Moore J. An overview of parasite-induced behavioral alterations – and some lessons from bats. *J Exp Biol* 1; 216 (1): 11–17. (2013) doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.074088>
  - Biron, D.G., Marché, L., Ponton, F., Loxdale, H.D., Galéotti, N., Renault, L., Joly, C. and Thomas, F., 2005. Behavioural manipulation in a grasshopper harbouring hairworm: a proteomics approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1577), pp.2117-2126.
  - Müller, C.B. Parasitoid induced digging behaviour in bumblebee workers. *Animal Behaviour*, 48(4), pp.961-966. (1994)
  - Overview - Parasitism and Natural Enemies. Rosemary Malfi, PhD. <https://rmalfiresearch.weebly.com/>
  - Hanelt, B.; Thomas, F.; Schmidt-Rhaesa, A. *Biology of the Phylum Nematomorpha*. 59. Academic Press, 2005, p. 243–305.