



Original

Simulación estocástica de un brote de enfermedad respiratoria aviar en Camagüey

Stochastic Simulation of Avian Respiratory Disease Outbreak in Camagüey

José A. Betancourt Bethencourt ^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0043-9526>

Reinaldo Hernández Zayas ² <https://orcid.org/0000-0002-8560-2750>

Mayda Álvarez Escoda ³ <https://orcid.org/0000-0001-8651-6400>

*Grupo de investigación del Centro de Inmunología y Productos Biológicos (CENIPBI) de la Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay.

**Universidad de Ciencias Médicas de Camagüey. Cátedra de Universidad Virtual de Salud de la Universidad de Ciencias Médicas Carlos J. Finlay.

***Universidad Ignacio Agramonte de Camagüey.

* Autor para la correspondencia(email): betanster@gmail.com

RESUMEN

Antecedentes: Una de las razones para estudiar las enfermedades infecciosas es el incremento del control y erradicación de las mismas. Los modelos matemáticos pueden ser una herramienta poderosa para este fin, permitiendo optimizar los recursos limitados y dirigir medidas más efectivas; se utilizan para la predicción y comprensión del fenómeno en estudio. **Objetivo.** Realizar simulaciones con el modelo estocástico *Susceptible, Infectado, Recuperado* (SIR) para introducirlos en la docencia, en los análisis epizootiológicos y en la toma de decisiones.

Métodos: Se simuló de manera virtual con un modelo estocástico la entrada de diez aves migratorias enfermas de procesos respiratorios en fincas de criadores, donde hay como promedio

Como citar (APA) Betancourt Bethencourt, J., Hernández Zayas, R., & Álvarez Escoda, M. (2021). Simulación estocástica de un brote de enfermedad respiratoria aviar en Camagüey. *Revista de Producción Animal*, 33(2). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3817>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

un total de 5000 aves de corral de diferentes tipos. Se determinó R_0 (número reproductivo básico) de acuerdo a la incidencia.

Resultados: La simulación se corrió con un índice de transmisibilidad bajo (1,8 %) y cada ave contacta un promedio de cinco aves de manera aleatoria durante 10 días. De no hacer ninguna intervención habría a los 20 días un pico de enfermos que sobrepasaría los 3000. Se encontró un número reproductivo básico mayor que la unidad ($R_0=1,14$) por lo que califica como brote epidémico.

Conclusiones: Se realizaron simulaciones con el modelo estocástico con una herramienta analítica sustentable basada en el programa libre R. Se constató la necesidad de integrar la epizootiología, la epidemiología y la matemática; por lo que deben entrenarse en estos aspectos a los estudiantes relacionados con la salud animal y la salud pública.

Palabras clave: epidemiología, prevención y control, transmisión, veterinaria (*Fuente: MeSH*)

ABSTRACT

Background. One of the reasons to study infectious diseases is to increase their control and eradication. Mathematical models could be a powerful tool to achieve that end, which allows for optimization of limited resources, and conduct more effective measures; these models are made to predict and increase understanding of the studied phenomenon. The aim of this paper is to conduct simulations using the stochastic model known as Susceptible, Infected, Recovered (SIR), and introduce them in the curricula of students, epizootiological analyses, and decision-making.

Methods. Virtually the entrance of ten migrating birds with respiratory processes was simulated on bird rearing farms averaging 5000 free-range poultry from different types. The R_0 was determined depending on the incidence.

Results. Simulation was run with a low communicability index (1.8 %), that is, 1.8 out of every 100 birds get sick, after interacting with other 5 birds each, at random, for 10 days. In the absence of intervention, there would be a spike of sick animals at 20 days, surpassing 3000 birds. A basic reproductive number greater than the unit ($R_0=1.14$) was observed, thus qualifying as an epidemic outbreak.

Conclusions. A number of simulations were made using the stochastic model with a sustainable analytical tool based on an R-free program. The need to integrate the epizootiology, epidemiology, and mathematic was demonstrated, suggesting that appropriate training should be provided by competent professionals.

Key words: epidemiology, prevention, and control, transmission, veterinary (*Source: MeSH*)

Recibido: 2/2/2021

Aceptado: 12/3/2021

INTRODUCCIÓN

Una de las razones para estudiar las enfermedades infecciosas es incrementar el control y erradicación de las mismas. Los modelos matemáticos pueden ser una herramienta poderosa para

este fin permitiendo optimizar los recursos limitados y dirigir medidas más efectivas, estos modelos se hacen para la predicción y para aumentar la comprensión del fenómeno en estudio. Estos deben ser tan simples como sea posible y a la vez precisos, flexibles y transparentes (Vidal *et al.*, 2020).

La Epizootiología en su esquema metodológico tradicional, al igual que otras tantas disciplinas; ha tenido un enfoque basado en la mecánica de Descartes y Newton, por lo que en muchas ocasiones mantiene el esquema tradicional de causa efecto basado en modelos de ecuaciones lineales, donde todo funciona como una maquinaria de forma predecible (Ivorra *et al.*, 2020).

Las epidemias y epizootias con sistemas complejos adaptativos. El sello distintivo de los sistemas complejos es su comportamiento de interacción no lineal e impredecible. Estos están estructurados como un gran número de elementos interactuando entre sí, cuyas repetidas interacciones resultan en un comportamiento colectivo que retroalimenta al comportamiento de las partes individuales (Caparrini *et al.*, 2016; Soler, 2017) que se pueden capturar en modelos matemáticos.

Con el valor de R_0 se determina cuando un agente patógeno puede invadir o persistir en una población susceptible sin inmunidad. Los agentes patógenos pueden evolucionar aumentando R_0 . Este valor es un indicador válido para medir la efectividad de las medidas de control que se requieren para eliminar las epidemias, cuando $R_0=1$ ó $R_0 <1$ no hay epidemias (Vidal *et al.*, 2020; Ridenhour, Kowalik y Shay, 2015).

La dinámica actual conlleva a aplicar teorías transdisciplinarias, por tanto, las universidades tienen el reto de liderar el proceso de transformación, introduciendo cambios en los procesos formativos que permitan a los futuros profesionales en salud pública, encontrar en la transdisciplinariedad, una herramienta para fortalecer la investigación y el diálogo de saberes (Castilla, Guerra y Villadiego, 2018).

Se manifiestan cambios en el uso de la Inteligencia Artificial, nuevas maneras de aprendizaje a distancia, consultas médicas a distancia y otros, lo que demuestra que para lograr resiliencia hay que fortalecerse en estos métodos adaptativos que requieren enfoques integradores (Martins, 2020).

Son pocas las enfermedades de las personas sin un vínculo a circulación animal (influenza, tripanosomiasis y una extensa lista de zoonosis), esta dinámica compleja se puede recoger en modelos matemáticos vitales para las políticas de control sanitario (Lloyd-Smith *et al.*, 2009).

En general la simulación (Ortiz, Vázquez y Aguilar, 2020) permite estudiar un sistema sin tener que realizar experimentación sobre el real y efectuar experimentos de muestreo sobre el modelo de un sistema. Un modelo no es más que un conjunto de variables junto con ecuaciones matemáticas que las relacionan. Los experimentos reales son de alto costo, lentos, sus pruebas a

veces son destructivas y con violaciones de la ética médica. El presente trabajo tiene como objetivo realizar simulaciones con el modelo estocástico *Susceptible, Infectado, Recuperado* (SIR) para introducirlos en la docencia, en los análisis epizootiológicos y en la toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo básico SIR (Susceptibles-Infectados-Recuperados) de Kermack y McKendrick, es un modelo de compartimentos donde la población bajo estudio se divide en clases epidemiológicas y se describe un flujo entre ellas (Vidal, 2020; Manlove *et al.*, 2019).

En este tipo de modelos matemáticos, el número reproductivo básico, (R_0) refleja la media del número de casos secundarios que provocará un enfermo primario en la población que no tiene previa inmunidad. Para determinar el número reproductivo (R_0) se utiliza el modelo siguiente:

$$R_0 = \beta S_0 (1/\gamma)$$

Donde:

β = índice de transmisibilidad

S_0 = Susceptibles sin inmunidad al inicio

γ = duración de la enfermedad

βS_0 es el número de nuevos casos que surgen (incidencia)

$1/\gamma$ es el promedio de duración de la infección

Se simuló un modelo estocástico (Rincón, 2012) con el paquete EpiModel presente en el programa R (R_Core_Team, 2021) la entrada de diez aves migratorias enfermas de procesos respiratorios en fincas de criadores de aves donde hay como promedio un total de 5000 aves de corral de diferentes tipos. Se determinó el R_0 (paquete RO, programa R) de acuerdo a la incidencia.

RESULTADOS

La simulación (**Fig. 1**) se corrió con un índice de transmisibilidad bajo (1,8 %), es decir, se enferman 1,8 de cada 100 y cada ave contacta un promedio de cinco aves de manera aleatoria durante 10 días. De no hacer ninguna intervención habría a los 20 días un pico de enfermos que sobrepasaría los 3000.

Se encontró un número reproductivo básico mayor que la unidad ($R_0=1,14$) por lo que califica como brote epidémico (Ke, Romero-Severson, Sanche y Hengartner, 2021).

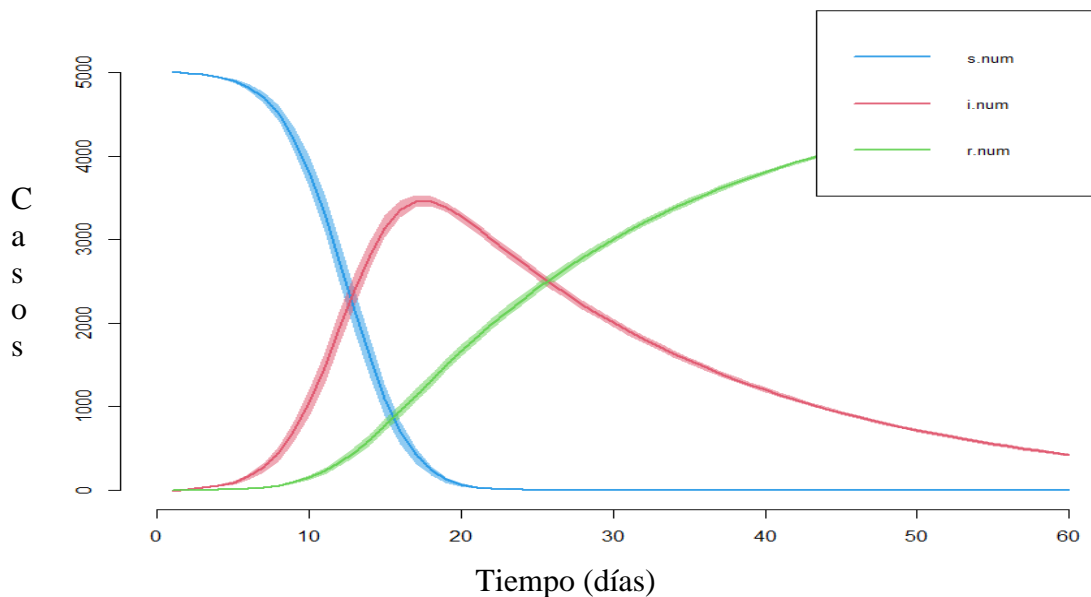


Fig. 1: Cinco aves migratorias infectadas contactan aleatoriamente a 5000 aves de corral. La línea roja representa la población infectada (i), la azul la población sana susceptible (s) y la verde los recuperados o salidos por muerte (r).

DISCUSIÓN

De manera sostenible, un profesional de la salud animal o pública puede valorar lo que se avecina, de hecho, debe diagnosticar y resolver el problema en los primeros 10 días, pues el crecimiento exponencial de la incidencia llegaría a sobrepasar los 3000 casos antes de los 20 días. Cada enfermo primario es capaz de infectar a 1,14 aves. No es conveniente esperar una inmunidad del rebaño (Trincado, 2020).

Se han estudiado patrones de dispersión de enfermedades respiratorias en personas y se han relacionado al mundo animal doméstico y silvestre (Torres *et al.*, 2020). En el caso de las aves migratorias, con su gran capacidad de desplazamiento, estas pueden contraer y dispersar infecciones por agentes patógenos peligrosos para los humanos (como el virus de la influenza aviar altamente patógena, el virus del Nilo Occidental, *Chlamydia psittaci*, entre otros), especialmente en el caso de las aves migratorias (Contreras *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2020).

Las aves acuáticas silvestres representan el principal reservorio natural de los virus influenza y han participado en el reordenamiento tanto de virus pandémicos como de los virus responsables de los brotes de gripe aviar en las especies domésticas y silvestres (Sánchez *et al.*, 2020).

Las personas tienden a crear vínculos afectivos con los animales, incluyendo a las aves, sin tener percepción del riesgo a que se exponen. Con frecuencia las aves viven en patios e interiores de las casas, sin mantener el distanciamiento necesario y en ocasiones son acariciadas. Este comportamiento social influye entre otros factores en la posibilidad de contagio de los seres humanos (Gibb *et al.*, 2020)

En entrenamientos de las matemáticas en Moodle se observó el desarrollo de competencias cooperativas así como también el auto-reconocimiento de deficiencias en la comprensión de algunos conceptos por los alumnos (Perera *et al.*, 2020).

La educación a distancia por su parte tiene una rápida expansión en los sistemas universitarios a nivel internacional por las ventajas que presenta, y de modo particular a través del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), en las que por medio del empleo de entornos virtuales se puede acceder a un curso desde cualquier lugar, basta con estar conectado a redes informáticas (Céspedes *et al.*, 2016). Se requiere un cambio metodológico que permita transitar de un método centrado en el contenido y el profesor, a uno centrado en las e-actividades y el alumno (Quiroz-Silva, 2017).

El veterinario de campo necesita un estilo de educación transdisciplinaria que incluya de manera sistemática estos modelos matemáticos para resolver diferentes problemas que se presentan en la vida real, por lo que se impone realizar un cambio organizacional en el que se modifiquen estilos de trabajo y formas auto-organizativas de la actividad (Cárdenas y Estrada, 2021; Belcher *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Se realizaron simulaciones con el modelo estocástico con una herramienta analítica sustentable basada en el programa libre R.

Se constató la necesidad de integrar la epizootiología, la epidemiología y la matemática; por lo que deben entrenarse en estos aspectos a los estudiantes relacionados con la salud animal y la salud pública.

Se expone la conveniencia de sistematizar entrenamientos de modelos matemáticos en la educación presencial y a distancia.

REFERENCIAS

- Belcher, B. M., Rasmussen, K. E., Kemshaw, M. R., & Zornes, D. A. (2016). Defining and assessing research quality in a transdisciplinary context. *Research Evaluation*, 25(1), 1-17. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvv025>
- Caparrini, F. S., de Grado Dirigidos, T. F., de Máster Dirigidos, T. F., NetLogo, E. S., Artificial, I., con NetLogo, P., ... & Funcional, R. (2016). Investigación: sistemas complejos. *Inteligencia Artificial*, 2020, 21. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?p=sistemas-complejos-2>
- Cárdenas, M. Á. L., & Estrada, C. C. P. (2021). Pandemia covid-19: Procesos de autoorganización desde la tecnología educativa. (Original). Roca. *Revista científico-educacional de la provincia Granma*, 17(1), 421-438. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca/article/view/2236>
- Castilla H, M., Guerra B, M., & Villadiego P, E. (2018). SALUD PÚBLICA: un campo de confrontación del paradigma disciplinar y transdisciplinar. *Revista Avances En Salud*, 2(2), 48-57. <https://doi.org/10.21897/25394622.1457>
- Contreras, A., Gómez, A., Paterna, A., & Tatay Dualde, J. (2016). Papel epidemiológico de las aves en la transmisión y mantenimiento de zoonosis. *Rev. Sci*, 35(3), 1-21.
- Gibb, R., Franklinos, L. H., Redding, D. W., & Jones, K. E. (2020). Ecosystem perspectives are needed to manage zoonotic risks in a changing climate. *bmj*, 371. <https://www.bmj.com/content/371/bmj.m3389>
- Céspedes Martínez, I., Contreras Palú, M.E (2016). El uso de Entornos Virtuales para el proceso de la toma de decisiones y la educación permanente. *Revista De Información Científica Para La Dirección En Salud. INFODIR*, 0(6). <http://www.revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/view/300>
- Ivorra, B., Ferrández, M. R., Vela-Pérez, M., & Ramos, A. M. (2020). Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China. *Communications in nonlinear science and numerical simulation*, 88, 105303. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105303>
- Ke, R., Romero-Severson, E., Sanche, S., & Hengartner, N. (2021). Estimating the reproductive number R_0 of SARS-CoV-2 in the United States and eight European countries and implications for vaccination. *Journal of Theoretical Biology*, 517, 110621. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519321000436>
- Lloyd-Smith, J. O., George, D., Pepin, K. M., Pitzer, V. E., Pulliam, J. R., Dobson, A. P., ... & Grenfell, B. T. (2009). Epidemic dynamics at the human-animal interface. *science*, 326(5958), 1362-1367. DOI: [10.1126/science.1177345](https://doi.org/10.1126/science.1177345)

- Manlove, K. R., Sampson, L. M., Borremans, B., Cassirer, E. F., Miller, R. S., Pepin, K. M., ... & Cross, P. C. (2019). Epidemic growth rates and host movement patterns shape management performance for pathogen spillover at the wildlife–livestock interface. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1782), 20180343. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0343>
- Martins, P. N. (2020). A transdisciplinary perspective of the current crisis situation in the world. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 15, 13. <https://doi.org/10.36713/epra4404>
- Ortiz, A. E., Vázquez, J. A., & Aguilar, R. M. G. (2020). Cambio de paradigma en la educación. *Cirujano General*, 42(2), 132-137. <https://dx.doi.org/10.35366/95373>
- Perera, J. J. D., Fernández, M. S., Urdaneta, C. E. R., & Izquierdo, S. J. (2020). Herramienta en red y desarrollo de competencias matemáticas. <http://www.sociedadelainformacion.com>
- Kiroyz-Silva JE. (2017). Un modelo pedagógico virtual centrado en las E-actividades. *RED: Revista de Educación a Distancia*, (53), 10. <https://www.um.es/ead/red/53/silva.pdf>
- Ridenhour, B., Kowalik, J. M., & Shay, D. K. (2015). El número reproductivo básico (R0): consideraciones para su aplicación en la salud pública. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 38, 167-176. <https://www.scielo.org/article/rpsp/2015.v38n2/167-176/es/>
- Rincón, L. (2012). *Introducción a los procesos estocásticos*. UNAM, Facultad de Ciencias.
- Sánchez, A., García-Galán, A., García, E., Gómez-Martín, Á., Fe, C. D. L., Corrales, J. C., & Contreras, A. (2020). Exposición ocupacional a los virus influenza de las aves silvestres. *Revista Española de Salud Pública*, 94, 202003022. <https://www.scielo.org/article/resp/2020.v94/202003022/>
- Soler, Y. (2017). Teorías sobre los sistemas complejos. *Administración & Desarrollo*, 47(2), 52-69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6403420>
- Team, R. C. (2021) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. *Google Scholar There is no corresponding record for this reference.*
- Torres Olave, M. E., Campos, U., Ivan, M., Gonzalez Leon, M. O., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Núñez Salazar, D. (2020). Patrones de distribución de H5N1 y H1N1, y riesgo en América del Norte. *Instituto de Arquitectura Diseño y Arte*. <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/15562>.

Betancourt Bethencourt, J.A., Hernández Zayas, R., Álvarez Escoda, M.

Trincado Aznar, E. (2020). COVID-19: Historia y pensamiento económico para un enemigo invisible. <https://www.ucm.es/icei/icei-papers-covid19>

Vidal Ledo, M., Guinovart Díaz, R., Baldoquín Rodríguez, W., Valdivia Onega, N. C., & Morales Lezca, W. (2020). Modelos matemáticos para el control epidemiológico. *Educación Médica Superior*, 34(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412020000200026

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: JABB; análisis e interpretación de los datos: JABB; redacción del artículo: JABB, RHZ, MAE.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.