

Sistema multiagente: simulación de una epidemia

Fabiola Vázquez

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL

Resumen

Durante la historia de la humanidad, esta se ha enfrentado a diversas enfermedades que terminan con la vida de gran parte de la población. Debido a esto, durante ya muchos años se han desarrollado innumerables modelos matemáticos en busca de comprender estos fenómenos y mitigar sus daños. Un enfoque reciente es el uso de la simulación de sistemas multiagente, que permite ajustar parámetros a nivel individual en vez de poblacional, y medir los resultados de adoptar distintas acciones para mitigar contagios. El presente trabajo muestra un modelo de contagio multiagente, donde se estudia el efecto que pudiera tener la probabilidad de contagio sobre el porcentaje máximo de individuos infectados. Además se estudia el efecto de adoptar medidas como el uso de cubrebocas o vacunación.

Palabras clave: Sistema multiagente, epidemia, simulación, SIR

1. Introducción

Actualmente, a nivel global se vive con la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 y algunas de las medidas para evitar su propagación son el uso correcto del cubrebocas, lavado de manos frecuentes y aislamiento social, es decir, no salir a menos que sea totalmente necesario. Muchas personas han hecho caso omiso a las indicaciones y continuamente salen sin protección alguna. Los objetivos de explorar este modelo son ver el impacto que tiene lo contagioso que es un virus, medido aquí como probabilidad de contagio, y mostrar el efecto que se puede obtener si se hace uso correcto de medidas preventivas como el cubrebocas.

En la sección 2 se explican algunos conceptos básicos, como agente, epidemia, sistema multiagente y el modelo SIR. La sección 3 se detalla un poco sobre los trabajos que se han realizado anteriormente sobre los sistemas multiagentes, dentro y fuera del área de epidemiología. La sección 4 detalla el modelo planteado y los resultados obtenidos.

2. Antecedentes

Existen diversas maneras de definir un agente. Según la Real Academia Española, un agente es una persona o cosa que produce un efecto. Una de las características principales que posee un agente es su autonomía, es decir, que poseen la capacidad de tomar decisiones independientemente sin intervención alguna de uno o más agentes. Además poseen capacidad de inferencia, es decir que son capaces de observar de forma general la información. En los sistemas que se muestran, cada uno de los agentes [1] posee sus propias características, como lo puede ser la posición inicial, su estado actual, si posee enfermedades previas, etcétera.

Un sistema multiagente [2] es un sistema donde un grupo de agentes autónomos interactúan en un entorno. Este tipo de sistemas han sido adaptados en diversas áreas debido a que, cuando se utiliza cómputo paralelo, este tipo de sistemas incrementa la velocidad y la eficiencia de la simulación.

Un modelo epidemiológico de tipo SIR es un modelo con compartimentos donde cada agente puede estar en uno de tres estados: susceptible, infectado o recuperado. El agente solo puede pasar de susceptible a infectado (al

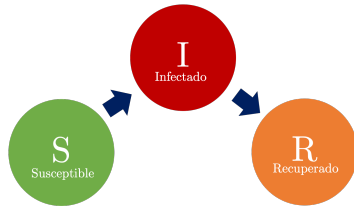


Figura 1: Modelo SIR.

ser contagiado), o de infectado a recuperado, donde se asume desarrolla inmunidad a la infección. La figura 1 muestra los cambios del estado del agente.

3. Trabajos relacionados

Las investigaciones que involucran el uso de agentes comenzaron a principios de los años ochenta. En el año de 1990, Varian [3] investigó un problema del ámbito económico donde los agentes pueden monitorear el comportamiento de otros agentes. En teoría de juegos el uso de sistemas multiagentes es muy usado, por ejemplo, Pendharkar [4] estudió el comportamiento cooperativo y competitivo de los agentes y trabajó también con conceptos del área de economía. Problemas de logística también han sido abordados con técnicas de simulación multiagente [5, 6]. En el área de epidemiología se tienen trabajos como los de Perez and Dragicevic [7], Venkatramanan et al. [8], Hoertel et al. [9]. Swarup [10] describe algunos problemas que aún no han sido resueltos en esta área.

4. Solución propuesta

Se trabaja con el software libre R [11] en un cuaderno de Jupyter [12]. El entorno de los agentes se considera como el cuadrado de lado 1.5×1.5 donde estos se posicionan uniformemente pseudo al azar. Se consideran diversos experimentos, en cada uno se trabajan con 50 agentes y un tiempo de 100. En la figura 2 se muestra el estado inicial de los agentes en el entorno, donde los agentes de color rojo son los infectados, los verdes son los susceptibles y los triángulos invertidos son los agentes que están vacunados.

En el primer experimento, los agentes pueden ser vacunados con una probabilidad p_v y estos adquieren el estado de recuperado y no puede ser infectado nuevamente. En el

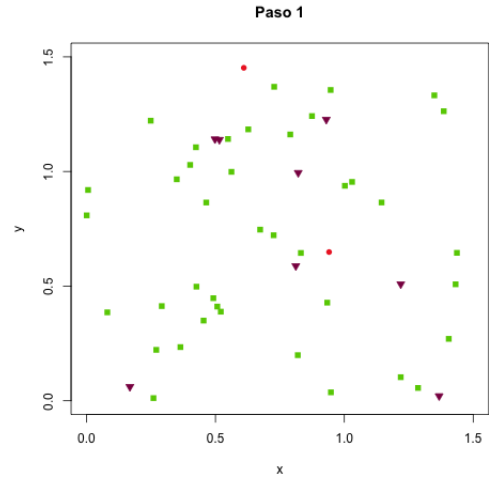


Figura 2: Estado inicial de los agentes en su entorno.

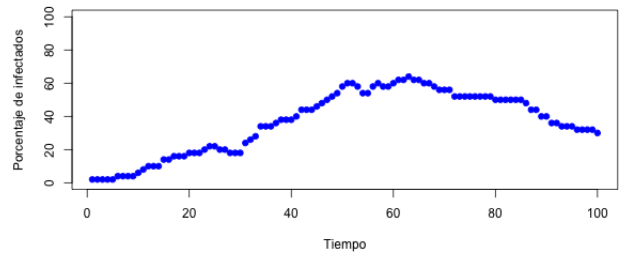


Figura 3: Ejemplo de una corrida considerando que los agentes se pueden vacunar, en este caso no se contempla el uso de cubrebocas.

segundo experimento, los agentes también pueden ser vacunados, pero se considera la probabilidad de 0.05 de que la vacuna falle, es decir, si el agente está vacunado y éste entra en contacto con alguien infectado, existe la posibilidad de volverse a contagiar; además se incluye que los agentes usan o no un cubrebocas para disminuir los contagios, esto se decide pseudo al azar. La figura 3 muestra el comportamiento de la epidemia en una sola corrida para el experimento 1 y la figura 4 muestra dicho comportamiento pero referente al experimento 2. Con una sola corrida no se puede ver el cambio que hay si el agente usa cubrebocas o no.

Se realiza la simulación variando la probabilidad p_v de

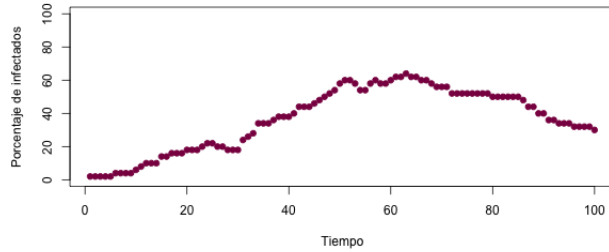


Figura 4: Ejemplo de una corrida considerando que los agentes vacunados pueden ser nuevamente susceptibles, en este caso se contempla el uso de cubrebocas.

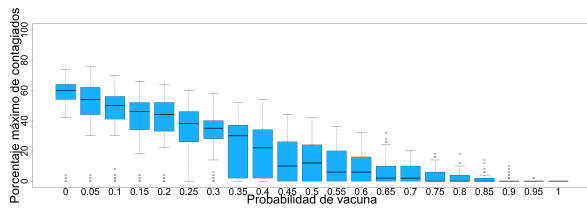


Figura 5: Gráficos de caja variando la probabilidad de que un agente se vacune en el experimento 1.

que un agente se pueda vacunar para ver el comportamiento en los dos experimentos mencionados anteriormente. La figura 5 muestra los gráficos de caja obtenidos con el experimento 1 y la figura 6 los del experimento 2. Como se puede apreciar en dichas figuras, el comportamiento es similar, mientras mayor sea la probabilidad de que el agente se vacune, menor será el porcentaje de infectados. La figura 6 comienza con un porcentaje mayor de infectados comparado con la figura 5 y esto es debido que en el segundo experimento, aún vacunado el agente, existe la probabilidad de que esta falle y sea contagiado.

Se realiza un tercer estudio, considerando las condiciones del experimento 2 para determinar si hay un efecto si los agentes usan un cubrebocas o no. La probabilidad de que estos no lo posean se varía de 0 a 1 en saltos de 0.25. La figura 7 muestra los gráficos de caja obtenidos en dicha simulación, donde se observa que si nadie usa cubrebocas los contagios aumentan.

Por último, consideramos el efecto que puede tener lo contagioso que es un virus. Para esto, se varió la proba-

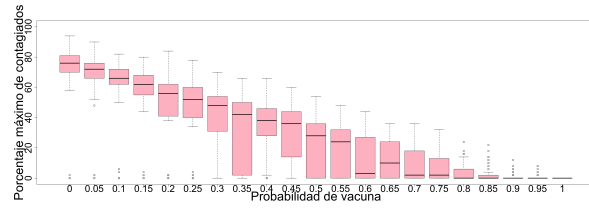


Figura 6: Gráficos de caja variando la probabilidad de que un agente se vacune en el experimento 2.

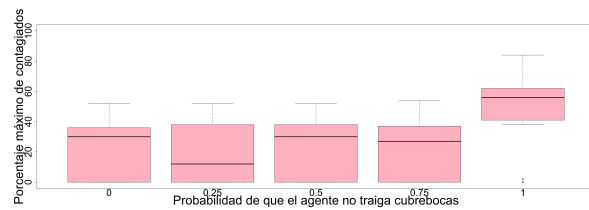


Figura 7: Gráficos de caja variando la probabilidad de que un agente no use cubrebocas en el experimento 2.

bilidad p de que un agente fuese contagiado por otro una vez que hicieran contacto. Las figuras 8, 9, 10 y 11 muestran corridas de una epidemia para distintos valores de p , mientras que la figura 12 muestra el impacto que tiene variar esta probabilidad en el porcentaje máximo de infectados.

5. Conclusiones

En el presente se trabajó con una simulación utilizando un sistema multiagente para verificar si existe un cambio significativo en el porcentaje de agentes contagiados si estos hacen uso de cubrebocas, y si el virus es más o menos contagioso. La figura 7 muestra que sí existen mejoras en el uso de los cubrebocas, para comprobarlo se

Cuadro 1: Valores p obtenidos al realizar una prueba de T de Student.

Conjuntos	Valor p
1 - 2	0.2065
2-3	0.0468
3-4	0.3030
4-5	0.6909

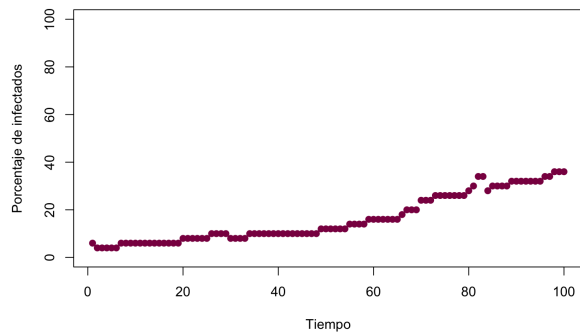


Figura 8: Ejemplo de una corrida, con probabilidad de contagio al contacto de $p = 0,25$, sin cubrebocas.

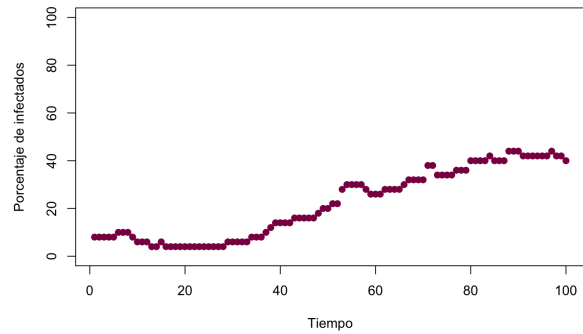


Figura 10: Ejemplo de una corrida, con probabilidad de contagio al contacto de $p = 0,75$, sin cubrebocas.

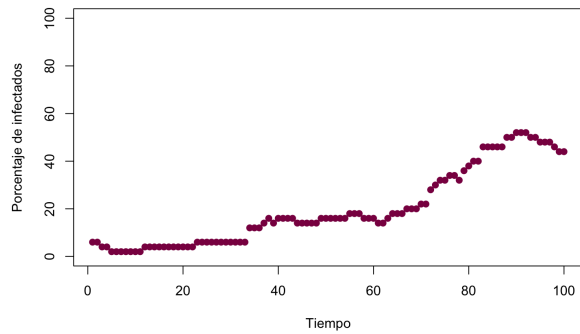


Figura 9: Ejemplo de una corrida, con probabilidad de contagio al contacto de $p = 0,5$, sin cubrebocas.

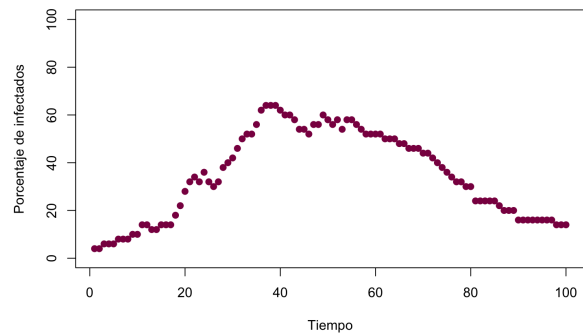


Figura 11: Ejemplo de una corrida, con probabilidad de contagio al contacto de $p = 1$, sin cubrebocas.

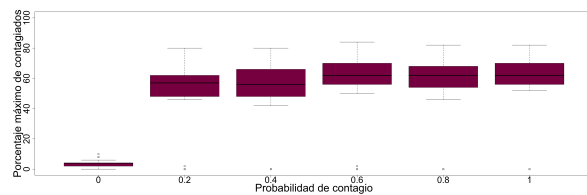


Figura 12: Gráfico de cajas variando la probabilidad de contagio.

realizan pruebas T de Student para revisar si hay diferencia significativa entre las medias de los conjuntos de datos obtenidos. El cuadro 1 muestra los valores p obtenidos de dichas pruebas. Se concluye que cuando la probabilidad de que no traigan cubrebocas es muy grande, se tiene una diferencia significativa en el porcentaje máximo de contagiados.

5.1. Trabajo futuro

A este modelo le hace falta tomar en cuenta muchos factores, como lo son el tipo de enfermedad (epidemia) con la que se trata, algunas características de los agentes como el hecho de si poseen alguna enfermedad (cáncer, asma, diabetes, etcétera) que haga que el contagio sea más grave para él. Se podría también cambiar la estructura de la población a algo más realista, como una red [8]. Podría también ampliarse el entorno de los agentes a no una sola *región*, es decir, que existan los *viajes* entre diferentes zonas donde cada una tenga una diferente probabilidad de contagio. Referente al tema del uso del cubrebocas, también se podría considerar si el agente hace uso correcto de este o qué tipo utiliza. También puede incorporarse el aislamiento social al modelo.

Referencias

- [1] B. P. Gokulan, D. Srinivasan, An introduction to multi-agent systems (2010). URL: <http://www.researchgate.net/publication/226165258>.
- [2] F. Michel, J. Ferber, A. Drogoul, Multi-agent systems and simulation: A survey from the agent community's perspective (2009). URL: <http://www.researchgate.net/publication/229070139>.
- [3] H. R. Varian, Monitoring agents with other agents, *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE) / Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* 146 (1990) 153–174. URL: <http://www.jstor.org/stable/40751313>.
- [4] P. C. Pendharkar, Game theoretical applications for multi-agent systems, *Expert Systems with Applications* 39 (2012) 273 – 279. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411009791>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.017>.
- [5] J. Wojtusiak, T. Warden, O. Herzog, Machine learning in agent-based stochastic simulation: Inferential theory and evaluation in transportation logistics, *Computers & Mathematics with Applications* 64 (2012) 3658–3665.
- [6] S. Hörl, Agent-based simulation of autonomous taxi services with dynamic demand responses, *Procedia Computer Science* 109 (2017) 899–904. doi:10.1016/j.procs.2017.05.418.
- [7] L. Perez, S. Dragicevic, An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread, *International Journal of Health Geographics* 8 (2009) 50. doi:10.1186/1476-072X-8-50.
- [8] S. Venkatramanan, B. Lewis, J. Chen, D. Higdon, A. Vullikanti, M. Marathe, Using data-driven agent-based models for forecasting emerging infectious diseases, *Epidemics* 22 (2018) 43–49. doi:10.1016/j.epidem.2017.02.010.
- [9] N. Hoertel, M. Blachier, C. Blanco, M. Olfson, M. Massetti, M. S. Rico, F. Limosin, H. Leleu, A stochastic agent-based model of the sars-cov-2 epidemic in france, *Nature Medicine* 26 (2020) 1417–1421. doi:10.1038/s41591-020-1001-6.
- [10] S. Swarup, S. G. Eubank, M. V. Marathe, Computational epidemiology as a challenge domain for multiagent systems (2014). URL: <http://www.ifaamas.org/AAMAS/aamas2014/proceedings/aamas/p1173.pdf>.
- [11] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>.
- [12] T. Kluyver, B. Ragan-Kelley, Pérez, et al., Jupyter notebooks—a publishing format for reproducible computational workflows, in: Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas: Proceedings of the 20th International Conference on Electronic Publishing, IOS Press, 2016, p. 87.