

# Simulación de epidemias bajo medidas de contingencia

Satu Elisa Schaeffer  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

PAICyT 2021

## Resumen

Se busca implementar modelos del comportamiento de epidemias en una población mediante técnicas de simulación multi-agente, incorporando medidas de contingencia. El objetivo es identificar hasta qué grado diversos factores propician o disminuyen el número de contagios, y con ello, apoyar la toma de decisiones de salud pública.

## 1. Introducción

La humanidad ha sido asediada por enfermedades infecciosas a lo largo de la historia. Ejemplos en la era moderna incluyen las epidemias del SARS, MERS, influenza AH1N1, ébola, y en la actualidad, el SARS CoV-2, virus que causa la enfermedad conocida como *covid-19*. Ante estas eventualidades, gobiernos de distintos niveles deben adoptar medidas prontas y efectivas para evitar una crisis de salud pública. Sin embargo, es difícil saber el impacto que tendrán las acciones tomadas ante un sistema complejo y dinámico, como lo es la propagación de una enfermedad en la población. Ante la inviabilidad logística, y quizá ética, de ensayar distintas medidas directamente a nivel población, surge la necesidad de realizar ensayos computacionales mediante modelos matemáticos de la enfermedad. La naturaleza aleatoria y evolutiva de los procesos de contagio hace de las simulaciones estocásticas una de las maneras más efectivas de estudiar y predecir el fenómeno.

Las técnicas de simulación multi-agente permiten analizar y cuantificar los efectos de distintas medidas ante la propagación de enfermedades, tales como el distanciamiento social, el uso de cubrebocas, o el aislamiento social, además de interacciones con otros factores como la densidad poblacional, nivel socioeconómico y la calidad de aire. La comprensión de estas diferencias conlleva a una toma de decisiones facilitada y basada en evidencia científica. Esta propuesta continúa la investigación iniciada en los proyectos PAICyT IT512-15 *Herramientas computacionales para análisis epidemiológico multifactorial* y PAICyT CE1421-20 *Exploración algorítmica de relaciones entre calidad de aire y bienestar*.

## 2. Antecedentes

Los modelos matemáticos para el estudio de epidemias han sido estudiados por décadas (Bailey, 1975; Britton, 2010). Varios buscan predecir el tamaño final de una epidemia con alguna probabilidad, así como otros buscando controlar el contagio (Nowzari, Preciado, y Pappas, 2016), mientras otros han estudiado el impacto de las medidas de contención de la propagación del virus (Fransson y Trapman, 2019). En el caso específico de las simulaciones multi-agente, además de ser usadas para el estudio de epidemias (Hassin, 2021; Hoertel y cols., 2020a; Perez y Dragicevic, 2009; Venkatramanan y cols., 2018) también se han usado para abordar problemas de transporte (Hörl, 2017) o finanzas (Samitas, Polyzos, y Siriopoulos, 2018). Nuestro gobierno no está exento de los retos que presenta enfrentar una crisis sanitaria de naturaleza epidémica, y tomar la decisión equivocada puede tener costos exorbitantes tanto en materia económica como en vidas humanas (Lipsitch, Finelli, Heffernan, Leung, y Redd, 2011; Maringe y cols., 2020; Pasquini-Descomps, Brender, y Maradan, 2017). Proyectos como el que proponemos pueden ayudar a que se entiendan mejor los impactos de las medidas tomadas, ya sea para contener sus efectos o para tomar una decisión más informada.

## 3. Objetivos y metas

El **objetivo general** es diseñar, implementar y analizar una simulación multi-agente epidemiológica que permita medir los efectos que tienen distintas medidas de contención contra el contagio y propagación de una enfermedad infecciosa.

Los *objetivos específicos* para el presente proyecto son

**Modelado matemático** Modelado matemático. Diseñar e implementar una simulación multi-agente de un modelo epidemiológico.

**Software abierto** Implementar un prototipo computacional para explorar los efectos de distintas medidas de contingencia.

**Visualización científica** Cuantificar y visualizar los efectos de las diversas medidas para evitar la propagación del virus.

### 3.1. Hipótesis

La simulación de modelos epidemiológicos permite una toma de decisiones más informada y con mejores resultados.

## 4. Metodología

Primero, se establecerán los parámetros epidémicos (e.g. tasa de contagio de la infección) y demográficos (e.g. edad de los agentes), mediante una revisión de la literatura. Teniendo definidos los parámetros, se procede a diseñar la simulación multiagente, basándonos en técnicas

existentes (Hoertel y cols., 2020b; Silva y cols., 2020). Con la finalidad de medir el impacto en el número de infectados, se realizarán simulaciones variando parámetros como la probabilidad de contagio, y se incorporarán intervenciones como uso de cubrebocas, distanciamiento social, o la introducción de una vacuna con un porcentaje ajustable de efectividad. También se medirá el efecto de las intervenciones con respecto al momento en que se llevan a cabo. Las hipótesis que surjan de nuestras simulaciones serán verificadas por medio de pruebas estadísticas.

El objetivo es tener un modelo que permita conocer el impacto de distintas intervenciones para facilitar la posible toma de decisiones ante la propagación de una enfermedad infecciosa.

## 5. Infraestructura y apoyo técnico disponible

El cubículo del investigador responsable en el CIDET cuenta con una iMac adquirida por el proyecto PAICyT 2015 que es suficiente para el trabajo por realizarse durante el 2021.

## 6. Participantes

Además de la tesista de maestría *Fabiola Vázquez* y el tesista de doctorado *Alberto Benavides*, se pretende trabajar con becarios de licenciatura — incluyendo a *Selene Berenice Prado Prado* (1810042, octavo semestre) y *Abraham Enrique Zaragoza García* (1601773, sexto semestre) de la PE Ingeniería en Tecnología de Software, becarios del PAICyT 2020, y otros por seleccionar — quienes se convertirán a tesis de licenciatura al llegar a su décimo semestre. Se cuenta con la participación de los siguientes tres investigadores de la FIME;

**Responsable** Satu Elisa Schaeffer

- Grado académico: Doctora en Ciencias en Tecnología (Ciencia e Ingeniería de la Computación)
- Nivel en el SNI: 1
- Últimas cinco publicaciones internacionales indizadas:
  1. Schaeffer y cols. (2021)
  2. Ibarra-Ramírez y cols. (2020)
  3. Schaeffer y Rodríguez Sánchez (2020)
  4. Garza Villarreal y Schaeffer (2019)
  5. Arellano-Arriaga, Molina, Schaeffer, Álvarez-Socarrás, y Martínez-Salazar (2019)

**Colaboradora** Sara Elena Garza Villarreal

- Grado académico: Doctora en Tecnologías de Información y Comunicaciones (Sistemas Inteligentes)
- Nivel en el SNI: 1
- Últimas cinco publicaciones internacionales indizadas:
  1. Flores y Garza Villarreal (2020)

2. Garza Villarreal y Schaeffer (2019)
3. Rodríguez y Garza Villarreal (2019)
4. Schaeffer y cols. (2018)
5. Ceballos, Garza Villarreal, y Cantu (2018)

**Colaboradora** José Arturo Berrones Santos

- Grado académico: Doctor en Física
- Nivel en el SNI: 1
- Últimas cinco publicaciones internacionales indizadas:
  1. Berrones Santos, Velasco, y Banda (2020)
  2. Vázquez, Alcalá, Almaguer, Schaeffer, y Berrones Santos (2018)
  3. Banda, Velasco, y Berrones Santos (2017)
  4. Saucedo-Espinosa, Escalante, y Berrones Santos (2017)
  5. Berrones, Jiménez, Alcorta-García, Almaguer, y Peña (2016)

## 7. Formación de recursos humanos

M.C. *José Alberto Benavides Vázquez* continúa con su trabajo doctoral, el cual inició en enero 2020, y Lic. *Ericka Fabiola Vázquez Alcalá* inició su trabajo de maestría en este tema en enero 2021. También se espera involucrar en el proyecto propuesto un tesista de licenciatura a partir de agosto 2021, posiblemente en rol de practicante hasta que pueda inscribir la unidad de aprendizaje Investigación en enero 2022. Por el momento no se puede prever que alguien defienda una tesis en este tema antes de que concluya el presente año, sin embargo, los tesisistas avanzarán en sus respectivos trabajos de tesis durante ese tiempo.

## 8. Calendarización de actividades

### 8.1. Primera administración

Con la participación de los alumnos de verano científico, el periodo **abril-julio** consiste en la exploración inicial de relaciones entre medidas de contingencia e indicadores epidemiológicas de modelos de simulación.

- La estudiante de maestría revisará y recopilará literatura relacionada con el tema e iniciará con las implementaciones de los prototipos.
- La investigadora responsable y la estudiante de maestría diseñan modelos matemáticos necesarios.
- Los investigadores participantes y la estudiante de maestría inician la redacción de un artículo tipo revisión (inglés: *survey*) para su futura publicación en una revista indizada internacional.

- El estudiante de doctorado continua con su trabajo doctoral.
- Los estudiantes de licenciatura diseñan e implementan su prototipo de visualización.
- Los alumnos de verano científico utilizarán Python y R para el análisis de datos y para realizar prototipos de simulación multi-agente.

## 8.2. Segunda administración

En el periodo **agosto-diciembre** el enfoque fuerte es la *tesis de maestría*, cuyo comité será formada por el equipo de trabajo, con la responsable como presidente y las colaboradoras como miembros de comité.

- La investigadora responsable y la estudiante de maestría validan los modelos matemáticos desarrollados.
- La estudiante de maestría trabaja en los prototipos y presenta sus resultados preliminares.
- La estudiante de maestría redacta la tesis.
- Las investigadoras participantes junto con los estudiantes de doctorado y maestría concluyen la redacción del *survey* y la someten en evaluación en una revista indizada internacional.

## 9. Resultados esperados

En el presente año se redacta un artículo tipo *survey* para someter a una revista internacional indizada (tentativamente para la revista de Elsevier llamada *Epidemics*) en coautoría entre los investigadores participantes y la estudiante de maestría.

Los primeros prototipos de software se incluirán en un repositorio público de código abierto. Los resultados obtenidos serán presentados en un congreso internacional por la tesista de maestría.

La tesis de maestría de Fabiola Vázquez se inicia en el 2021 y se estima defenderla a inicios del 2022. Alberto Benavides continúa con su tesis doctoral.

## Referencias

- Arellano-Arriaga, N. A., Molina, J., Schaeffer, S. E., Álvarez-Socarrás, A. M., y Martínez-Salazar, I. A. (2019). A bi-objective study of the minimum latency problem. *Journal of Heuristics*, 25(3), 431–454. doi: doi:10.1007/s10732-019-09405-0
- Bailey, N. T. J. (1975). *The mathematical theory of infectious diseases and its applications* (second ed.). London: Griffin.

- Banda, J., Velasco, J., y Berrones Santos, J. A. (2017). Dual mean field search for large scale linear and quadratic knapsack problems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 478, 158–167. doi: doi:10.1016/j.physa.2017.02.052
- Berrones, A., Jiménez, E., Alcorta-García, M. A., Almaguer, F.-J., y Peña, B. (2016, Jan). Parameter inference of general nonlinear dynamical models of gene regulatory networks from small and noisy time series. *Neurocomputing*, 175, 555–563. doi: doi:10.1016/j.neucom.2015.10.095
- Berrones Santos, J. A., Velasco, J., y Banda, J. (2020). Dual mean field annealing scheme for binary optimization under linear constraints. *Operations Research Letters*, 48(3), 271–277. doi: doi:10.1016/j.orl.2020.03.002
- Britton, T. (2010). Stochastic epidemic models: A survey. *Mathematical Biosciences*, 225(1), 24–35. doi: doi:10.1016/j.mbs.2010.01.006
- Ceballos, H. G., Garza Villarreal, S. E., y Cantu, F. J. (2018). Factors influencing the formation of intra-institutional formal research groups: group prediction from collaboration, organisational, and topical networks. *Behavior & Information Technology*, 37(6), 607–621. doi: doi:10.1080/0144929X.2018.1470254
- Flores, K. G., y Garza Villarreal, S. E. (2020). Density peaks clustering with gap-based automatic center detection. *Knowledge-Based Systems*, 206, 106350. doi: doi:10.1016/j.knosys.2020.106350
- Fransson, C., y Trapman, P. (2019). SIR epidemics and vaccination on random graphs with clustering. *Journal of Mathematical Biology*, 78(7), 2369–2398. doi: doi:10.1007/s00285-019-01347-2
- Garza Villarreal, S. E., y Schaeffer, S. E. (2019). Community detection with the label propagation algorithm: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 534, 122058. doi: doi:10.1016/j.physa.2019.122058
- Hassin, R. (2021). A simple markovian spreading process with mobile agents. *Stochastic Systems*, 11(1), 19–33. doi: doi:10.1287/stsy.2019.0061
- Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olfson, M., Massetti, M., Rico, M. S., ... Leleu, H. (2020a). A stochastic agent based model of the SARS-CoV-2 epidemic in France. *Nature Medicine*, 26(9), 1417–1421. doi: doi:10.1038/s41591-020-1001-6
- Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olfson, M., Massetti, M., Rico, M. S., ... Leleu, H. (2020b, Sep). A stochastic agent-based model of the sars-cov-2 epidemic in france. *Nature Medicine*, 26(9), 1417–1421. doi: doi:10.1038/s41591-020-1001-6
- Hörl, S. (2017). Agent-based simulation of autonomous taxi services with dynamic demand responses. *Procedia Computer Science*, 109, 899–904. doi: doi:10.1016/j.procs.2017.05.418
- Ibarra-Ramírez, M., de Jesús Lugo-Trampe, J., Campos-Acevedo, L. D., Zamudio, M., Torres-Muñoz, I., Gómez-Puente, V., ... Martínez-Garza, L. (2020). Gene copy number quantification of SHOX, VAMP7, and SRY for the detection of sex chromosome aneuploidies in neonates. *Genetic Testing and Molecular Biomarkers*, 24(6), 352–358. doi: doi:10.1089/gtmb.2019.0226
- Lipsitch, M., Finelli, L., Heffernan, R. T., Leung, G. M., y Redd, S. C. (2011). Improving the evidence base for decision making during a pandemic: The example of 2009 influenza a/h1n1. *Biosecurity and Bioterrorism*, 9(2), 28. doi: doi:10.1089/bsp.2011.0007
- Maringe, C., Spicer, J., Morris, M., Purushotham, A., Nolte, E., Sullivan, R., ... Aggarwal, A. (2020, Aug). The impact of the covid-19 pandemic on cancer deaths due to delays in diagnosis in england, uk: a national, population-based, modelling study. *The Lancet*

- Oncology*, 21 (8), 1023–1034. doi: doi:10.1016/S1470-2045(20)30388-0
- Nowzari, C., Preciado, V. M., y Pappas, G. J. (2016). Analysis and control of epidemics. *IEEE Control Systems*, 36 (1), 26–42. doi: doi:10.1109/MCS.2015.2495000
- Pasquini-Descomps, H., Brender, N., y Maradan, D. (2017, Jun). Value for money in h1n1 influenza: A systematic review of the cost-effectiveness of pandemic interventions. *Value in Health*, 20 (6), 819–827. doi: doi:10.1016/j.jval.2016.05.005
- Perez, L., y Dragicevic, S. (2009). An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. *International Journal of Health Geographics*, 8 (1), 50. doi: doi:10.1186/1476-072X-8-50
- Rodríguez, F. M., y Garza Villarreal, S. E. (2019). Predicting emotional intensity in social networks. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36 (5), 4709–4719. doi: doi:10.3233/JIFS-179020
- Samitas, A., Polyzos, S., y Siriopoulos, C. (2018). Brexit and financial stability: An agent-based simulation. *Economic Modelling*, 69, 181–192. doi: doi:10.1016/j.econmod.2017.09.019
- Saucedo-Espinosa, M. A., Escalante, H. J., y Berrones Santos, J. A. (2017). Detection of defective embedded bearings by sound analysis: a machine learning approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28 (2), 489–500. doi: doi:10.1007/s10845-014-1000-x
- Schaeffer, S. E., Garza Villarreal, S. E., Espinosa Cenicerros, J. C., Urbina Coronado, S. C., Nurmi, P., y Cruz-Reyes, L. (2018). A framework for informing consumers on the ecological impact of products at point of sale. *Behavior & Information Technology*, 37 (6), 607–621. doi: doi:10.1080/0144929X.2018.1470254
- Schaeffer, S. E., Jiménez Lizárraga, M., Rodríguez Sánchez, S. V., Cuellar-Rodríguez, G., Aguirre-Calderón, O. A., Reyna-González, A. M., y Escobar, A. (2021). Detection of bark beetle infestation in drone imagery via thresholding cellular automata. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15 (1), 016518. doi: doi:10.1117/1.JRS.15.016518
- Schaeffer, S. E., y Rodríguez Sánchez, S. V. (2020). Forecasting client retention — a machine-learning approach. *Journal of Retailing and Consumer Service*, 52, 101918. doi: doi:10.1016/j.jretconser.2019.101918
- Silva, P. C., Batista, P. V., Lima, H. S., Alves, M. A., Guimarães, F. G., y Silva, R. C. (2020, Oct). Covid-abs: An agent-based model of covid-19 epidemic to simulate health and economic effects of social distancing interventions. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 110088. doi: doi:10.1016/j.chaos.2020.110088
- Vázquez, L. A. B., Alcalá, M., Almaguer, F. J., Schaeffer, S. E., y Berrones Santos, J. A. (2018). A cellular automaton model of a wastewater treatment process. *Journal of Cellular Automata*, 13 (5–6), 407–428.
- Venkatramanan, S., Lewis, B., Chen, J., Higdon, D., Vullikanti, A., y Marathe, M. (2018). Using data-driven agent-based models for forecasting emerging infectious diseases. *Epidemics*, 22, 43–49. doi: doi:10.1016/j.epidem.2017.02.010

## 10. Justificación financiera de los requerimientos

El presupuesto es un total de \$50,000, el cual será administrada en dos partes: la primera administración (abril-julio) consistirá en los rubros 108 y 110 (\$25,000) y la segunda administración (agosto-diciembre) consistirá en los rubros 101, 102, 106 y 107 (\$25,000).

- 101 Viáticos** Apoyo para la presentación de los resultados del proyecto: alimentación y hospedaje de los estudiantes de doctorado y maestría al participar en un congreso para presentar su trabajo de tesis; se respetan los límites establecidos.
- 102 Pasajes** Pago de transporte para los estudiantes a un congreso para presentar resultados de su trabajo de tesis; el gasto ejercido entre los rubros de viáticos y pasajes corresponde al 30% del monto apoyado, lo que es el máximo permitido.
- 103 Gastos de Trabajo de Campo** *No se requiere.*
- 104 Ediciones e Impresiones** *No se requiere.*
- 105 Servicios Externos** *No se requiere.*
- 106 Cuotas de Inscripción** Pago para la asistencia a congreso para que los estudiantes de doctorado y maestría presenten su trabajo.
- 107 Artículos, Materiales y útiles Diversos** Compra de materiales para actividades diarias: papelería de oficina, consumibles, tóner de impresora.
- 108 Libros y Revistas Técnicas y Científicas** Se contempla adquisición de libros según las necesidades de los alumnos tesistas.
- 109 Animales para Rancho y Granja** *No se requiere.*
- 110 Becas** Dos mil pesos mensuales a alumno tesista de licenciatura por los ocho meses del proyecto (de mayo a diciembre), en un solo pago al finalizar la primera administración.

Se resumen los montos por rubro, indicando también el porcentaje del presupuesto total del proyecto.

CLAVE	PARTIDA	IMPORTE	PORCENTAJE
101	Viáticos	\$7,000	15%
102	Pasajes	\$8,000	15%
103	Gastos de Trabajo de Campo	—	0%
104	Ediciones e Impresiones	—	0%
105	Servicios Externos	—	0%
106	Cuotas de Inscripción	\$5,000	10%
107	Artículos, Materiales y útiles Diversos	\$5,000	10%
108	Libros y Revistas Técnicas y Científicas	\$9,000	18%
109	Animales para Rancho y Granja	—	0%
110	Becas	\$16,000	32%
Total	GASTO CORRIENTE	\$50,000	100%

## 11. Resultados beneficiados del PAICyT anterior

En el proyecto CE1421-20, el M.C. Alberto Benavides ha avanzado su trabajo de tesis doctoral y estamos próximos a enviar un artículo a revista. En ese proyecto, se inició además el trabajo de tesis de maestría de la Lic. Ericka Fabiola Vázquez.