



**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Campus Tecnológico Local de San José
Escuela de Computación
Bachillerato de Ingeniería en Computación
IC-4700 Simulación de Sistemas Naturales**

Proyecto

Propuesta de Proyecto:
Propagación del COVID-19 en eventos masivos.

Integrantes

2022133582 - Alison Solano Moreno
2023207915 - Josué Daniel Soto González
2022209475 - Tzu Rue Hsu Fu
2022437395 - Jocelyn Gómez Fuentes

Profesor

Mauricio Avilés Cisneros

**II semestre 2024
Septiembre, 2024**

1. Introducción.....	2
a. Objetivo del proyecto y descripción general.....	2
b. Relevancia del proyecto y su potencial impacto.....	2
2. Antecedentes.....	3
a. Modelo de simulación del COVID-19 basado en agentes: Aplicación al caso argentino....	3
b. “Probá Simular una Epidemia.”	4
c. “El simulador que muestra cómo se contagia una epidemia y la importancia de respetar la cuarentena.”	5
e. Steering Behaviors For Autonomous Characters.....	6
f. The relationship between COVID- 19 viral load and disease severity: A systematic review	6
g. Review of infective dose, routes of transmission and outcome of COVID-19 caused by the SARS-COV-2: comparison with other respiratory viruses– CORRIGENDUM.....	7
h. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE CONTAGIO DE COVID-19 POR AEROSOL EN AMBIENTES CERRADOS: APLICACIONES A CASOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA.....	7
3. Objetivos.....	8
a. Objetivo general.....	8
b. Objetivos específicos.....	8
4. Alcance.....	9
a. Generación de un escenario delimitado.....	9
b. Configuración de parámetros personalizados.....	9
c. Visualización de datos y métricas.....	10
d. Mecanismo de exposición a la infección.....	10
e. Interacciones sociales y contagio.....	11
f. Simulación de un Modelo Abstracto.....	11
e. Aspectos que no se abarcarán.....	11
5. Tecnologías a utilizar.....	12
6. Productos esperados.....	12
7. Personal involucrado.....	12
8. Referencias Bibliográficas.....	12

Propuesta de Proyecto: Propagación del COVID-19 en eventos masivos.

1. Introducción

a. Objetivo del proyecto y descripción general.

En este proyecto programado, se pretende simular en un escenario delimitado como funciona la propagación de una enfermedad infecciosa causada por un virus como lo es el COVID-19 y como causó una crisis sanitaria global que se desencadenó en la sociedad a través del mundo. El objetivo es desarrollar una herramienta que permita crear y analizar diferentes escenarios hipotéticos para observar cómo se propaga el contagio del virus entre las personas durante la pandemia.

La simulación se enfocará en que el usuario pueda generar manualmente diversos escenarios que mostrarán la tasa de contagio y la severidad del virus bajo condiciones variables. Entre los factores que se configurarán en estos escenarios se incluyen la ventilación, la movilidad de la población, el uso de mascarillas y la efectividad de las mismas por lo que la aplicación permitirá estudiar cómo estos elementos influyen en la expansión del virus.

El propósito principal es proporcionar un esquema detallado para entender mejor el comportamiento del COVID-19 y evaluar el impacto de las medidas preventivas de salud pública. La obtención y análisis de datos precisos a partir de estas simulaciones son cruciales para tomar decisiones informadas que ayuden a mitigar la propagación del virus y proteger la salud de la población.

b. Relevancia del proyecto y su potencial impacto.

Este proyecto es altamente relevante porque proporciona una herramienta esencial para concientizar sobre la importancia de las medidas de salud pública y analizar el contagio del virus COVID-19 de manera detallada. Aunque se centra en el COVID-19, la simulación también es aplicable a futuros brotes de enfermedades infecciosas. La simulación permitirá crear y evaluar diferentes escenarios hipotéticos para entender cómo varían la tasa de contagio y la severidad del virus bajo diversas condiciones.

A pesar de no replicar con exactitud el comportamiento del COVID-19, la herramienta ofrece un esquema visual que representa de manera efectiva esta problemática. Siendo esta simulación de gran valor tanto para el campo académico como para la industria de la salud, al proporcionar una herramienta para predecir la propagación del virus y evaluar el impacto de diferentes estrategias preventivas. Esto no solo facilitará la planificación de respuestas más efectivas a futuras pandemias, sino que también destacará la importancia del comportamiento individual en la reducción de contagios dentro de una sociedad.

El uso de una simulación para reproducir numerosas instancias (ejecución específica del modelo con un conjunto determinado de parámetros) con parámetros variados permitirá analizar múltiples casos en un período determinado. Esta metodología, combinada con datos de epidemias y enfermedades contagiosas previas, proporcionará mecanismos efectivos para la predicción y la planificación de medidas de salud pública.

El impacto positivo del proyecto radica en su capacidad para mejorar la toma de decisiones informadas, apoyar la industria de la salud y contribuir a la investigación científica. Además, al demostrar la importancia de las medidas individuales y colectivas en el control de enfermedades, la simulación promoverá una mayor conciencia y preparación para enfrentar futuros brotes infecciosos.

2. Antecedentes

a. Modelo de simulación del COVID-19 basado en agentes: Aplicación al caso argentino	
Autores:	Jiménez Romero, Cristian; Tisnés, Adela; Linares, Santiago
Objetivo general del estudio:	El objetivo del estudio es simular, a través de un enfoque didáctico, diferentes escenarios hipotéticos de la pandemia COVID-19 ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales para evaluar cómo estas variables influyen en la evolución y dispersión del virus en Argentina.
Descripción, resultados y conclusiones:	El modelo presentado es una simulación de múltiples agentes implementada en NetLogo, que visualiza la dinámica emergente de la interacción de factores biológicos y sociales en el desarrollo de la pandemia COVID-19. Se analizaron cuatro escenarios de evolución del COVID-19 en Argentina con distintos niveles de restricción en la movilidad de la población durante una simulación de 90 días corridos. Los resultados mostraron que el aislamiento social es la medida que más influye en la prevención y ralentización del contagio del virus, demostrando ser la estrategia más efectiva para controlar la propagación del COVID-19.
Relación con el proyecto:	Este estudio es relevante para el proyecto actual, ya que proporciona un modelo basado en agentes que permite analizar cómo diferentes medidas de control, como las restricciones de movilidad, afectan la propagación del COVID-19. La simulación realizada con este modelo

	puede facilitar la toma de decisiones informadas sobre la implementación de medidas preventivas y de control.
Fuente:	https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107719

b. “Probá Simular una Epidemia.”	
Autores:	Edwin Pacheco, Eugenia Bernaschini, Federico González, Rodrigo Kataishi, Gabriela Razzitte, Eduardo Howard, Gabriel Koremblit.
Objetivo general del estudio:	El objetivo del estudio es proporcionar una herramienta interactiva para la simulación de epidemias, utilizando un modelo matemático para explorar cómo variables como el distanciamiento social, la proporción de personas asintomáticas, y la capacidad de respuesta del sistema de salud afectan la dinámica de la propagación de una enfermedad. Se busca que los usuarios comprendan mejor los mecanismos de contagio y los efectos de diferentes medidas preventivas a través de un simulador basado en el modelo epidemiológico SIR.
Descripción, resultados y conclusiones:	El simulador utiliza el modelo epidemiológico SIR y su versión basada en agentes para visualizar la dinámica de la propagación de una epidemia. Los usuarios pueden ajustar parámetros clave como el distanciamiento social, la proporción de asintomáticos, y el tiempo de respuesta del sistema de salud para observar su impacto en la cadena de contagios. Los resultados muestran que el distanciamiento social y la capacidad de diagnóstico temprano son factores cruciales en la mitigación del contagio. El modelo permite estimar cómo varía el número de infectados y recuperados a lo largo del tiempo bajo diferentes escenarios. La simulación ayuda a tomar conciencia de las consecuencias sociales de las decisiones individuales y de las políticas públicas en el contexto de una epidemia.
Relación con el proyecto:	Este trabajo complementa el proyecto actual al proporcionar una perspectiva práctica sobre la simulación de epidemias y la aplicación del modelo SIR en un entorno interactivo. La capacidad de ajustar variables y observar los resultados en tiempo real ofrece una

	herramienta valiosa para comprender la propagación de enfermedades infecciosas y evaluar el impacto de diferentes medidas de control, lo cual es relevante para la simulación y análisis de epidemias en el contexto del proyecto actual.
Fuente:	https://untdf-grupo-simulaciones.github.io/epidemias/

c. “El simulador que muestra cómo se contagia una epidemia y la importancia de respetar la cuarentena.”	
Autores:	Redacción A24.com
Objetivo general del estudio:	Mostrar de manera didáctica los efectos del distanciamiento social en medio de una pandemia, con el objetivo de aplanar la curva de contagios para evitar el colapso de los sistemas de salud.
Descripción, resultados y conclusiones:	El simulador es una adaptación del Laboratorio de Simulación de Eventos Discretos del Instituto UBA/CONICET de Ciencias de la Computación de la UBA, basado en un desarrollo publicado por el Washington Post. Permite controlar diversos parámetros para ensayar distintos escenarios de contagio y evaluar la importancia del comportamiento individual en la reducción de contagios. Aunque la simulación utiliza una enfermedad hipotética llamada "Simulitis", su dinámica sigue el modelo epidemiológico SIR (Susceptibles, Infectados y Recuperados). Los parámetros que se pueden ajustar incluyen la velocidad de movimiento de las partículas (personas), la población total, la duración de la simulación, el tamaño de las partículas, la cantidad inicial de infectados, el porcentaje de partículas que se mueven, y la movilidad de los infectados iniciales. Los escenarios típicos predeterminados facilitan el uso del simulador en contextos educativos y en la evaluación de políticas públicas.
Relación con el proyecto:	Este simulador es relevante para el estudio de la propagación de epidemias y la importancia de las medidas de prevención, como el distanciamiento social y la cuarentena. El uso de modelos de simulación ayuda a entender y predecir la dinámica de contagios, lo que es crucial para la planificación y la implementación de políticas efectivas en la gestión de pandemias.

Fuente:	https://www.a24.com/actualidad/prueba-simula-condiciones-cuarentena-09042020_K8tJGYmZl
---------	---

e. Steering Behaviors For Autonomous Characters	
Autores:	Craig W. Reynolds
Objetivo general del estudio:	El paper describe cómo simular distintos comportamientos en agentes autónomos para aplicar en animaciones y juegos de manera realista.
Descripción, resultados y conclusiones:	<p>El estudio presenta varios comportamientos para los agentes que los ayuda a seguir rutas, evitar muros u obstáculos, perseguir objetivos, huir de objetivos y otros comportamientos adicionales mediante el uso de vectores, dirección y matemáticas.</p> <p>Se concluye que los comportamientos pueden ser útiles en animaciones y videojuegos e incluso se pueden combinar distintos comportamientos para obtener resultados distintos.</p>
Relación con el proyecto:	Los agentes del proyecto seguirán los comportamientos descritos en el paper para simular querer ir a ubicaciones ("seek"), caminar libremente ("wander"), entre otros comportamientos.
Fuente:	CRAIG

f. The relationship between COVID-19 viral load and disease severity: A systematic review	
Autores:	Omid Dadras, Amir M. Afsahi, Zahra Pashaei, Hengameh Mojdeganlou, Amirali Karimi, Pedram Habibi, Alireza Barzegary, Amirata Fakhfour, Pegah Mirzapour, Nazanin Janfaza, Soheil Dehghani, Fatemeh Afroughi, Mohsen Dashti, Sepideh Khodaei, Esmaeil Mehraeen, Fabricio Voltarelli, Jean-Marc Sabatier, SeyedAhmad SeyedAlinaghi.
Objetivo general del estudio:	El estudio realizó una investigación de otras investigaciones previas sobre la relación entre la carga viral del COVID-19 y la severidad de la enfermedad, llegando a conclusiones generales del comportamiento de la misma bajo múltiples circunstancias.
Descripción,	Se revisaron 34 estudios que midieron la carga viral y la severidad de

resultados y conclusiones:	los síntomas. No se logró concluir una relación entre la carga viral y la severidad de la enfermedad sin embargo se encontró una gran relación entre la carga viral y la transmisión del virus.
Relación con el proyecto:	La fuerte conexión encontrada entre la carga viral y la transmisión del virus puede ayudar a entender mejor las relaciones y métodos de contagio del Covid-19 entre los agentes de la simulación.
Fuente:	https://doi.org/10.1002/iid3.580

**g. Review of infective dose, routes of transmission and outcome of COVID-19 caused by the SARS-COV-2: comparison with other respiratory viruses–
CORRIGENDUM**

Autores:	Sedighe Karimzadeh, Raj Bhopal y Nguyen Tien Huy
Objetivo general del estudio:	El estudio revisa la dosis de infección en humanos del Covid-19 y la compara con otras enfermedades respiratorias previamente estudiadas. También compara estos resultados con estudios experimentales realizados en distintos mamíferos por múltiples vías de infección de coronavirus.
Descripción, resultados y conclusiones:	El estudio revela que el SARS-CoV-2 puede propagarse eficazmente a través de distintas formas como por aerosol, intranasal y otros métodos. No se puede concluir una transmisión mediante la comparación animal sin embargo se pueden inferir muchas conclusiones respecto a la transmisión del SARS-CoV-2.
Relación con el proyecto:	Las conclusiones generales respecto a la transmisión del virus y las rutas de transmisión ayuda a simular el contagio de la simulación.
Fuente:	https://doi.org/10.1017/S0950268821000790

h. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE CONTAGIO DE COVID-19 POR AEROSOLES EN AMBIENTES CERRADOS: APLICACIONES A CASOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA

Autores:	Fernando Velarde, Rubén Mamani-Paco, Marcos Andrade-Flores
Objetivo general del estudio:	El estudio tiene como objetivo estimar la probabilidad de contagio por aerosol mediante el uso de matemáticas y datos de la inhalación y emisión de quanta de las personas realizando distintas actividades

	<p>en múltiples posiciones.</p> <p>Con esto se busca simular el contagio en una aula de clases, un teatro y un vehículo de transporte público.</p>
Descripción, resultados y conclusiones:	<p>Se desarrolló un sistema que calcula la emisión e inhalación de quanta, la ventilación del ambiente y el uso de mascarillas para determinar la probabilidad de contagio. Con la probabilidad de contagio se desarrolló un sistema de Wells-Riley para calcular la probabilidad de contagio en escenarios cerrados.</p> <p>Se determinaron las probabilidades de contagio en múltiples escenarios con distintas variables ambientales. Se concluyó que la ventilación es un factor muy importante a la hora de determinar la transmisibilidad de las enfermedades por aerosol. Otro factor importante es el uso de mascarillas y la calidad de las mismas.</p>
Relación con el proyecto:	Se utilizará el modelado del cálculo de la probabilidad para determinar la inhalación y exhalación de quanta en los agentes. Con esto se simulará el sistema de contagio principal de los agentes.
Fuente:	http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37_a04.pdf

3. Objetivos

a. Objetivo general

Desarrollar una herramienta de simulación que permita modelar y comprender cómo se difunde el virus COVID-19 en un escenario definido, con el propósito de evaluar las intervenciones sanitarias y destacar la relevancia de las acciones individuales en la contención del contagio.

b. Objetivos específicos

1. Simular un escenario de concierto con agentes que pueden moverse libremente a través del escenario simulando el comportamiento de personas. Los agentes seguirán distintos comportamientos como tratar de acercarse al escenario, caminar libremente o hacer fila para entrar al mismo. Los agentes seguirán comportamientos autónomos como los descritos por Craig Reynolds que les permitirán seguir los movimientos descritos anteriormente. Esto permitirá a la simulación recrear personas de manera realista.

2. Recrear la propagación del virus SARS-Cov-2 entre los agentes del concierto mediante la recreación de las situaciones que causan el contagio. La simulación tendrá un virus con distintos parámetros que ayuden a modelar la transmisión del virus como: la distancia, la ventilación, la tasa de inhalación de quanta, la tasa de emisión de quanta y el estado de la infección del agente. De esta forma, se podrá observar el avance del virus a través de la simulación y el contagio de los agentes en la misma.
3. Definir parámetros para el uso de mascarillas, considerando el porcentaje de agentes que las utilizan y su efectividad, la cual modifica el porcentaje de reducción de emisión e inhalación de quanta por parte de los agentes.
4. Implementar la ventilación en la simulación mediante un parámetro modificable que permite ajustar la ventilación en el ambiente que se va a simular. Determinar como la ventilación afecta la dispersión de quanta en el aire mediante el uso de la tasa de intercambio de aire (ACH) que toma en cuenta el volumen del espacio y el tiempo para saber el nivel de movilidad de las partículas en el aire.
5. Desarrollar un módulo estadístico que recopile los datos de la simulación a lo largo del tiempo y los represente en pantalla para su análisis. Esto permitirá ver la cantidad de agentes: totales, sanos, infectados, con o sin mascarilla que permitan analizar la información brindada por la simulación.

4. Alcance

a. Generación de un escenario delimitado

El programa será capaz de crear un escenario que simule una situación de la vida cotidiana, concretamente de un concierto como escenario principal, esto ayuda a delimitar el experimento, y a su vez el usuario puede experimentar a través de la simulación cuando desee intervenir. Se representará el escenario con los agentes dentro y el concierto en curso para enfocarse en las interacciones que suceden durante el mismo.

En este escenario también el usuario puede ajustar los diversos parámetros en un rango previamente establecido, como lo es la cantidad de la población de individuos, cantidad de infectados iniciales, cantidad de individuos con mascarilla, efectividad de la mascarilla y ventilación. También se utilizarán campos de flujo para ayudar a los agentes a desplazarse a través de las puertas y entre el resto de ambientes.

b. Configuración de parámetros personalizados

El usuario tendrá control sobre una serie de parámetros predeterminados que podrán ser modificados para ajustar las condiciones de la simulación. Entre estos parámetros destacan:

- Cantidad inicial de la población infectada: El usuario podrá definir cuántas personas comenzarán la simulación en estado de infección.
- Cantidad inicial de la población sana: Se podrá ajustar el número de individuos que inician la simulación sin estar contagiados.
- Cantidad de individuos con mascarillas: Se permitirá definir la cantidad de individuos que contarán con mascarillas, sin importar si están contagiados o no.
- Ventilación del ambiente: Velocidad a la que se intercambia el aire interior por aire exterior renovado.
- Efectividad de las mascarillas: Efectividad en reducir la inhalación y/o exhalación de quanta por los agentes.

c. Visualización de datos y métricas

La simulación mostrará de manera clara y detallada diferentes datos clínicos que definirán el comportamiento del contagio dentro del escenario. Estos datos se encontrarán en permitirán al usuario entender cómo evoluciona la enfermedad bajo las condiciones establecidas y ajustar los parámetros en función de los resultados observados. Entre los datos clínicos se incluirán:

- Cantidad total de infectados.
- Cantidad total de sanas.
- Cantidad de personas con mascarillas(infectados y sanos).
- Efectividad de la mascarilla.
- Nivel de ventilación.

Esta información se actualizará constantemente durante la simulación para proporcionar una vista detallada de la evolución de la enfermedad.

d. Mecanismo de exposición a la infección

La simulación implementará un mecanismo que refleje el riesgo de exposición a la infección mediante la interacción social. Esto se logrará a través de algoritmos que representarán el movimiento de los individuos, así mismo existirá un algoritmo que se encarga de calcular la cantidad de contagio del virus, este mismo tomará en cuenta el radio de contagio, la actividad y posición que está haciendo las personas, por lo tanto, esto simula de forma detallada el contagio, cuando una persona sana entre en contacto con una persona infectada.

Este algoritmo de contagio del virus permitirá modelar la dinámica del contagio, donde el movimiento y las interacciones (contacto o proximidad) entre individuos serán factores clave para determinar la propagación de la enfermedad. Algunos parámetros necesarios para la implementación:

- Tasa de inhalación de los individuos según su posición corporal y actividad física: de pie, recostado, ejercicio ligero, ejercicio moderado, entre otras.
- Tasa de emisión de individuos enfermos según posición corporal y actividad física: de pie, recostado, ejercicio ligero, ejercicio moderado, entre otras.

e. Interacciones sociales y contagio

Los agentes de la simulación presentan una variedad de comportamientos. Estos comienzan a deambular utilizando el comportamiento de "wander", simulando el movimiento aleatorio de los asistentes dentro de las distintas áreas del concierto. Además, se utilizan técnicas de "seek" para dirigir a los agentes hacia objetivos específicos como el escenario o un baño, "flow following" para seguir trayectorias predefinidas, y "arrival" para asegurar que las personas disminuyan su velocidad y lleguen suavemente a sus destinos dentro del escenario del concierto.

La simulación implementará un sistema de interacciones para el contagio que se basa únicamente en el contacto o proximidad entre los agentes, y que causará que las personas dentro del escenario se contagien entre sí, y como consecuencia se transmita la enfermedad. Cuando un agente sano está cerca de un agente infectado, este inhala una cantidad determinada de quanta que al llegar al límite establecido de acuerdo con el trabajo de investigación realizada por Velarde, Mamani-Paco y Andrade-Flores, contagia al agente.

La finalidad del sistema es que permita observar cómo los pequeños cambios en los parámetros, como el número de infectados, la ventilación o las mascarillas, pueden afectar significativamente la evolución de la epidemia, proporcionando así una herramienta educativa y de experimentación.

f. Simulación de un Modelo Abstracto

La simulación se enfoca en mostrar los aspectos fundamentales del sistema, es decir, cómo se comporta y cómo se propaga una enfermedad en términos generales. El objetivo es ofrecer un modelo simplificado que ayude a entender los conceptos principales, sin centrarse tanto en los detalles visuales o físicos exactos. Esto permite que el usuario se concentre en el análisis de la dinámica de contagio en lugar de en una representación gráfica realista.

Los agentes serán representados mediante círculos bidimensionales con colores de acuerdo con su nivel de infección. Los colores van en una escala desde el verde para

representar que un individuo está sano hasta rojo que representa a un individuo que está contagiado.

e. Aspectos que no se abarcarán

1. No se incluirá un diseño complejo o detallado de las personas, utilizaremos representaciones simples para tener un enfoque en la simulación general.
2. No se simularán o representarán síntomas del virus en los individuos contagiados.
3. No habrá una representación visual directa de la propagación del virus entre las personas, como podría ser la visualización de las partículas virales.
4. La simulación no incluirá la recuperación de los contagiados, ya sea por medicamentos u otros medios, ni representaciones gráficas de este proceso.
5. No se podrá ajustar dinámicamente la tasa a la que los individuos enfermos contagian a otros, este parámetro se mantendrá fijo durante toda la simulación, sin posibilidad de ajustes por parte del usuario, debido a que se utilizará valores establecidos en base de los datos científicos de los papers.

5. Tecnologías a utilizar

Para el desarrollo de la simulación, se emplea el lenguaje de programación Java en el entorno de desarrollo integrado de código abierto llamado "Processing". Esta herramienta facilita la visualización y simulación de fenómenos complejos, permitiendo una representación gráfica efectiva y la interacción de múltiples agentes. Para el control de versiones y colaboración, se emplea en aplicaciones como "Discord", "GitHub" y "Google Docs" para la organización y el desarrollo de la documentación del proyecto.

6. Productos esperados

- Propuesta: La propuesta corregida, que detalla de manera clara los objetivos, metodologías empleadas y el alcance previsto del proyecto.
- Sistema finalizado: Implementación funcional del sistema con los comportamientos descritos para poder simular el comportamiento del Covid-19 en un concierto.
- Presentación: Se realizará una presentación del sistema completo acompañado de una presentación oral y diapositivas explicativas.
- Video demostrativo: Se realizará un video donde se demuestre el funcionamiento del prototipo, demás temas técnicos, como es la descripción del proyecto programado, el objetivo del proyecto, y la recreación de varios escenarios de simulación.

7. Personal involucrado

Alison Solano Moreno: Programador

Josué Daniel Soto González: Programador

Tzu Rue Hsu Fu: Programador

Jocelyn Gómez Fuentes: Programador

Laura Amador Salas: Consultora de Biología

Mauricio Avilés: Consultor de Simulaciones Programadas

8. Referencias Bibliográficas

C5N. (2020, 29 junio). *Habla el desarrollador del simulador de contagio viral que demuestra la importancia de la cuarentena* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=EEjfhN7t0FY>

Code INTEF. (2020, 16 marzo). *¿Cómo se propaga un virus? Simulamos una epidemia vírica para conocerlo mejor.* https://code.intef.es/prop_didacticas/simulamos-una-epidemia-virica/

Dadras, O., Afsahi, A. M., Pashaei, Z., Mojdeganlou, H., Karimi, A., Habibi, P., Barzegary, A., Fakhfour, A., Mirzapour, P., Janfaza, N., Dehghani, S., Afroughi, F., Dashti, M., Khodaei, S., Mehraeen, E., Voltarelli, F., Sabatier, J-M., & SeyedAlinaghi, S. (2021). *The relationship between COVID-19 viral load and disease severity: A systematic review. Immunity, Inflammation and Disease*, 10(3), e580. <https://doi.org/10.1002/iid3.580>

Reynolds, C. W. (1999). *Steering behaviors for autonomous characters*. Sony Computer Entertainment America.

Karimzadeh, S., Bhopal, R. & Nguyen Tien, H. (2021). *Review of infective dose, routes of transmission and outcome of COVID-19 caused by the SARS-CoV-2: Comparison with other respiratory viruses–Corrigendum. Epidemiology and Infection*, 149, e116 1-2. <https://doi.org/10.1017/S0950268821000790>

PreventionWeb. (2020, 29 mayo). *Coronavirus: cómo predecir la propagación de futuras pandemias usando modelos y simulación.* <https://www.preventionweb.net/news/coronavirus-como-predecir-la-propagacion-de-futuras-pandemias-usando-modelos-y-simulacion>

Gómez-Campos, S., & Chou-Chen, S. W. (2023). *Patrones de movilidad en tiempos de COVID-19. Epi-SCIENCE*, 1(1). <https://doi.org/10.15517/es.2023.55398>

Organización Panamericana de la Salud. (s. f.). *La OMS declara que el nuevo brote de coronavirus es una emergencia de salud pública de importancia internacional.* <https://www.paho.org/es/noticias/30-1-2020-oms-declara-que-nuevo-brote-coronavirus-es-emergencia-salud-publica-importancia>

UNTDF . (s. f.). *Simulador de epidemias.* <https://untdf-grupo-simulaciones.github.io/epidemias/>

Redacción A24. (2020, 9 abril). *El simulador que muestra cómo se contagia una epidemia y la importancia de respetar la cuarentena.* A24. https://www.a24.com/actualidad/prueba-simula-condiciones-cuarentena-09042020_K8tJGYmZl

Velarde, F., Mamani-Paco, R., & Andrade-Flores, M. (2020). *Estimación de la probabilidad de contagio de COVID-19 por aerosoles en ambientes cerrados: Aplicaciones a casos en la ciudad de La Paz, Bolivia.* *Revista Boliviana de Física*, 37(37), 22-30. http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37_a04.pdf