

Simulador de COVID-19.

D. Henao, A. Valencia.
Instituto de Física, Universidad de Antioquia
(Dated: 16 de abril de 2020)

Resumen.

En diciembre de 2019 se presentaron en China los primeros casos de COVID-19, una enfermedad infecciosa con un nivel de propagación muy alto. Según la información oficial, los alcances de su transmisión entre la población han sido considerables en varias regiones del planeta. Es evidente que el reconocimiento de la enfermedad como pandemia, declarado por la OMS, ha implicado una colaboración científica sin precedentes, de la cual han resultado varios modelos estadísticos en los que se afirma que practicar el distanciamiento social tiene una importancia fundamental como mecanismo de contención del virus. Precisamente se realizó este trabajo con el propósito de usar el lenguaje de programación Python y obtener algunas simulaciones, teniendo como base la estrategia informativa del periódico Washington Post para mostrar al público cómo se propaga un virus y cómo es posible disminuir el contagio entre la población.

I. INTRODUCCIÓN

Hay diferentes agentes microscópicos que producen infecciones a nuestro sistema inmunológico, entre los que están las bacterias, que presentan características propias de una célula, y los virus, que son microorganismos no celulares, pero pueden replicarse en el interior de las células de otros organismos, comprometiendo especialmente el material genético intracelular (ADN y ARN).

Actualmente el mundo enfrenta la enfermedad de COVID-19, una infección causada por el virus SARS-CoV-2 que al entrar en el organismo, ataca rápidamente las células pulmonares. Se continúa investigando su mecanismo exacto de transmisión, pero la evidencia indica que el contagio entre individuos de la población se puede producir por contacto, a través de micropartículas de saliva emitidas de forma inadvertida desde la boca de una persona contagiada.

Desde su aparición (mayor a tres meses atrás) la cantidad de veces que se ha transmitido el virus de una persona a otra ya superó los dos millones de casos en el planeta, lo que visibiliza la importancia de estudiar las medidas propuestas para disminuir su propagación, una de ellas, el distanciamiento social entre las personas. Una forma de hacerlo es analizando modelos entendidos desde el punto de vista matemático, que sirven para dar interpretaciones cuantitativas y cualitativas, además de responder a situaciones más específicas relacionadas con el aislamiento social, como por ejemplo la movilidad de los individuos en un espacio determinado.

Una herramienta útil para explorar un modelo es la programación orientada a objetos en lenguajes como C++ o Python, que pueden ser apropiados para simular la situación real de propagación de un virus. El objetivo principal es transformar el contexto del comportamiento del virus, representando el movimiento de partículas dentro de una caja a través de la movilidad de los individuos; interpretando los parámetros y especificaciones bajo la

interacción social, que en nuestro caso corresponde a la colisión entre las partículas; y desarrollando el análisis de algunos escenarios posibles del aislamiento mientras se inmoviliza a los individuos.

II. MARCO TEÓRICO

Tendremos partículas esféricas moviéndose libremente dentro de una caja a partir de unas posiciones y velocidades iniciales. Su comportamiento será como el de las partículas en un gas ideal o como el que tendrían aproximadamente unas bolas en una mesa de billar sin fricción. Más detalladamente, las partículas no presentarán deformaciones en su material (no habrá disipación de energía en forma de calor), no rotarán y todas las colisiones entre ellas y con las paredes serán elásticas.

Al ser elásticas las colisiones, y al no considerar otro tipo de interacciones, la energía cinética y el momento total se conservarán en todo el sistema y en cada colisión de 2 partículas durante la simulación. La condición de conservación de estas dos cantidades es suficiente para predecir la velocidad que tendrá el par de partículas después de la colisión. Las expresiones de estas velocidades son:

$$\mathbf{v}'_1 = \mathbf{v}_1 - \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \frac{\langle \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2, \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 \rangle}{\|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2\|^2} (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2), \quad (1)$$

$$\mathbf{v}'_2 = \mathbf{v}_2 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \frac{\langle \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1, \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \rangle}{\|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1\|^2} (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1) \quad (2)$$

Donde \mathbf{v}_1 y \mathbf{v}_2 son las velocidades de las partículas antes de colisionar, \mathbf{v}'_1 y \mathbf{v}'_2 son las velocidades después, \mathbf{r}_1 y \mathbf{r}_2 las posiciones, m_1 y m_2 sus masas y $\langle \rangle$ indica el producto punto.

El caso de las colisiones con las paredes es más sencillo. Si una partícula choca con una pared vertical, solo

la componente en el eje x de su velocidad cambia, de forma que $v'_x = -v_x$. Si el choque es contra una pared horizontal, resulta que $v'_y = -v_y$.

III. CARACTERIZACIÓN

Python es el lenguaje de programación que hemos utilizado para desarrollar la simulación. A continuación, se describen las especificaciones que son similares a las que consideraron en el periódico, excepto diferencias como en la región de influencia.

Población: el modelo analizado se configuró para reconocer a la población con un total de $n = 200$ individuos, así:

| Estado | Color | Observación |
|-------------|-------|--|
| Sanos | Azul | $n - 1$ personas al inicio |
| Contagiados | Rojo | 1 contagiado inicial |
| Recuperados | Verde | Contagiados durante un tiempo δt |

Cuadro I: Información de la población.

Región de influencia y escenarios: se tiene una caja bidimensional definida en el cuadrado $[-1, 1] \times [-1, 1]$, sus límites serían los análogos a las fronteras de una ciudad. Dentro de la caja se plantean las siguientes situaciones:

S_1 – toda la población se mueve libremente.

S_2 – toda la población puede movilizarse, pero inicialmente se divide el espacio de la caja con una barrera para restringir los movimientos y tratar de aislar a los individuos contagiados de los sanos (intento de cuarentena).

S_3 – solo hay movimiento de 1/4 (25 %) de la población (restricción moderada).

S_4 – solo hay movimiento de 1/8 (12,5 %) de la población (restricción exhaustiva).

Parámetro de interacción social: dos individuos tienen contacto cuando haya ocurrido una colisión entre dos partículas. Se supone que la interacción entre un individuo sano y uno contagiado, representa una probabilidad del 100 % para la transmisión del virus.

Criterio de selección: si un individuo está contagiado, se determinan las unidades de tiempo necesarias para que cambie al estado recuperado (se determina que una partícula transforme automáticamente su color, rojo \rightarrow verde). En las colisiones siguientes no se afecta el estado de recuperación (los recuperados no pueden volver a contagiarse). El tiempo de recuperación definido es alrededor de un tercio del tiempo total de la simulación.

Otras especificaciones: la posición y velocidad inicial del sistema se genera de manera aleatoria evitando que se presente una superposición entre las partículas en

el estado inicial. Los vectores de velocidad de las partículas varían su magnitud y dirección. Se asumió una masa unitaria $m = 1$ para las situaciones S_1 y S_2 donde todas las partículas tienen movimiento. En las situaciones S_3 y S_4 también se dejó $m=1$ para las partículas en movimiento, pero se fijó velocidad nula y un valor muy grande de masa a las partículas que se quieren quietas, precisamente para que en las colisiones no reboten.

Para todos los casos el resultado gráfico de la simulación se obtuvo compilando el código un total de $t = 1000$ unidades de tiempo y $\delta t = 350$ unidades de tiempo para activar la recuperación. A las partículas se les asignó una forma circular con un diámetro $d = 0,03$. Además se utilizó un valor 'infinitesimal' $\delta r = d/10$ para producir una ligera separación gráfica durante la colisión.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la situación S_1 se obtuvo la representación gráfica que se observa en la Figura 1. Como aquí no se tiene un control de la población, la curva de color rojo crece hasta alcanzar su pico máximo mucho antes de que hayan transcurrido las unidades de tiempo total. Prácticamente toda la población se contagiará, lo que ocurre en un instante intermedio entre el estado inicial y el momento en que la curva decaía otra vez a su valor nulo. Por convención todas las personas se recuperarán, lo que se muestra en la región de color verde, pero sabemos que en un entorno real los virus tienen una tasa de letalidad, y se debe evitar que toda la población se contagie de una forma tan rápida, ya que los sistemas de salud no tienen la capacidad de atender simultáneamente a toda la población.

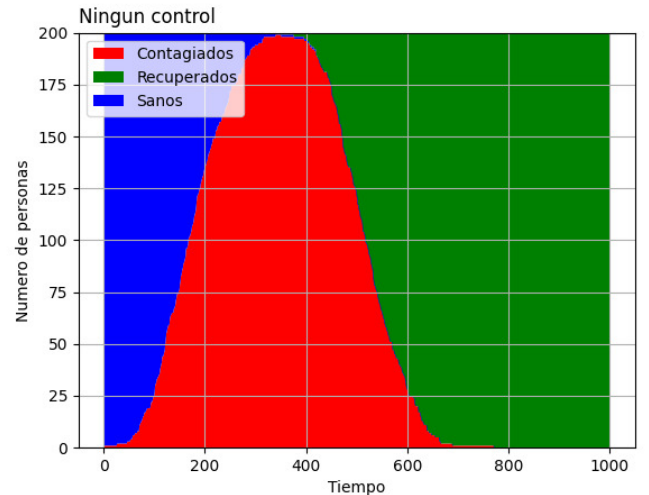


Figura 1: escenario S_1 .

En la representación gráfica de la Figura 2 se observa la tendencia que adquiere la curva de color rojo y las regiones azul y verde, en el caso de implementar un intento de cuarentena. Aunque se logró reducir el pico de la curva, este método no es suficiente porque una parte significativa de las personas se pueden contagiar, en este caso más del 80 %. Aquí, la barrera impuesta para restringir el movimiento se liberó a las 140 unidades de tiempo (se abrió paulatinamente), de modo que la curva de color rojo comienza a crecer lentamente hasta que se haya contagiado aproximadamente el 30 % de la población y después de esto, nuevamente el pico de la curva continúa ascendiendo de una forma rápida.

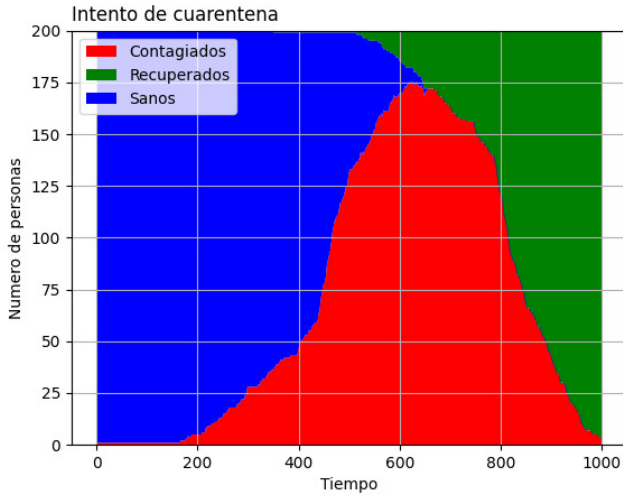


Figura 2: escenario S_2 .

Seguidamente se muestran las anteriores situaciones, consultadas en las simulaciones del periódico, que comparadas con las curvas obtenidas, indican que el modelo desarrollado responde acertadamente según las especificaciones que se han definido.

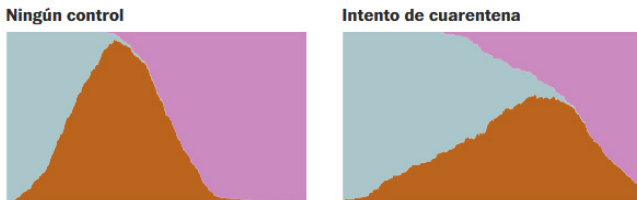


Figura 3: simulación del periódico para S_1 y S_2 .

Ahora, el resultado en la situación S_3 se visualiza en la Figura 4. Si una parte de la población no se mueve el pico de la curva de contagio solo alcanza un poco más de la mitad del total de la población.

Entonces una restricción moderada sugiere que el distanciamiento social o una baja interacción entre las personas es la clave que se necesita para evitar un contagio masivo.

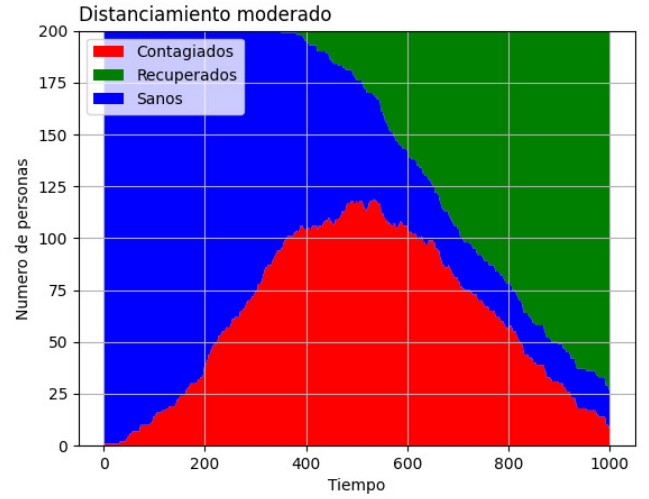


Figura 4: escenario S_3 .

De hecho, en la última situación S_4 que se aprecia en la Figura 5 se evidencia que inmovilizando más del 85 % de la población, solo resultarán aproximadamente un total del 25 % de las personas contagiadas, es decir, se logrará reducir una gran parte del pico de la curva de color rojo y como consecuencia, el aislamiento de la mayoría de la población será eficiente para permanecer sin contagiarse.

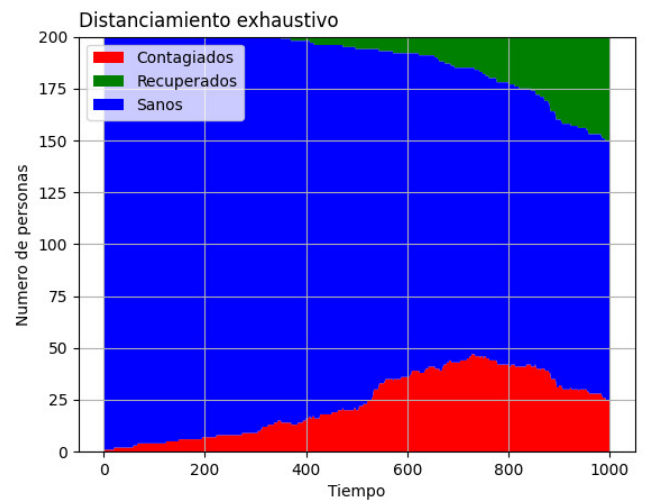


Figura 5: escenario S_4 .

Nuevamente se muestran los dos últimos casos de las simulaciones consultadas en el periódico. Su similitud con los resultados obtenidos nos confirma que el modelo desarrollado es acertado. Cualquier diferencia radicará en las condiciones que se hayan adoptado y en la aleatoriedad permitida en el estado inicial en cada ocasión en que la simulación sea realizada.

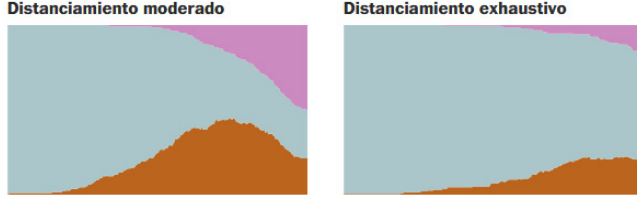


Figura 6: simulación del periódico para S_3 y S_4 .

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Suponiendo una distribución total de personas a lo largo de toda la superficie de un territorio, la densidad poblacional se define como la relación entre el número de personas y el área superficial. De acuerdo con las especificaciones del modelo desarrollado, el número de individuos por unidad de longitud cuadrada es de 50. Países como Panamá o Irán tienen una densidad poblacional de 50 habitantes por kilómetro cuadrado.

La comparación que se precisa aquí, solo nos permite señalar que siguiendo las medidas de la situación más favorable, es decir, practicando el distanciamiento social

exhaustivo, alrededor del 75 % de la población permanecería a salvo de la amenaza.

Lo anterior representa más de 3 millones de personas en el caso de Panamá y más de 60 millones de personas en el caso de Irán, por lo que las medidas de contención deben ser muy rigurosas, para frenar la tasa de expansión de un virus que se propaga rápidamente, aplanar la curva y mantener segura a la población.

El análisis realizado usando como herramienta la programación orientada a objetos, supuso un reto para desarrollar toda la estructura y la escritura lógica en la parte de codificación, determinando las condiciones correctas que hicieron posible evaluar los parámetros, produciendo la evolución del sistema de partículas.

Por lo tanto la programación usada en el análisis de situaciones reales, tiene una importancia significativa para entender y resolver diferentes problemas, tanto existentes como nuevos para la sociedad moderna.

VI. REFERENCIAS

- The Washington Post (2020). *Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve”*, [en línea]. SETEVENS, H. Disponible en: <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator> [2020, 15 de abril].
- GitHub (2020). *Elastic-Collision: 2D elastic collision engine*, [en línea]. Disponible en: <https://github.com/yoyoberenguer/Elastic-Collision> [2020, 15 de abril].