



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Exploración de la Epidemia COVID-19 en Hermosillo, Sonora con Simulaciones de Dinámica Browniana

César Omar Ramírez Álvarez, Isaac Neri Gómez Sarmiento, Jonás Valenzuela Terán

cesaromarramirezalvarez@gmail.com, isaacneri.gs@gmail.com, 24jonass@gmail.com

Departamento de Física, Universidad de Sonora

Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N Col. Centro, C.P. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

Resumen

En este trabajo se obtuvo un modelo simple de contagio, al buscar analogías entre una población de personas y un sistema de suspensión coloidal regido bajo un movimiento browniano. Se consideró la densidad poblacional de Hermosillo, con el fin de analizar la efectividad de las medidas sanitarias de "Quédete en Casa" y "Sana Distancia" emitidas por la Secretaría de Salud en México para enfrentar la epidemia de COVID-19. Se presentan gráficas que avallan la efectividad de las medidas sanitarias.

Introducción

El COVID-19 es la enfermedad infecciosa causada por el coronavirus SARS-CoV-2. Los síntomas más habituales son la fiebre, la tos seca y el cansancio. El brote de este virus estalló en Wuhan, China en diciembre de 2019. En Sonora, el primer caso se confirmó el 17 de marzo de 2020 en el municipio de Hermosillo y a la fecha en este municipio se han confirmado aproximadamente 34,147 casos, representando un 47% del total de Sonora y colocándolo como el municipio que más casos ha presentado.

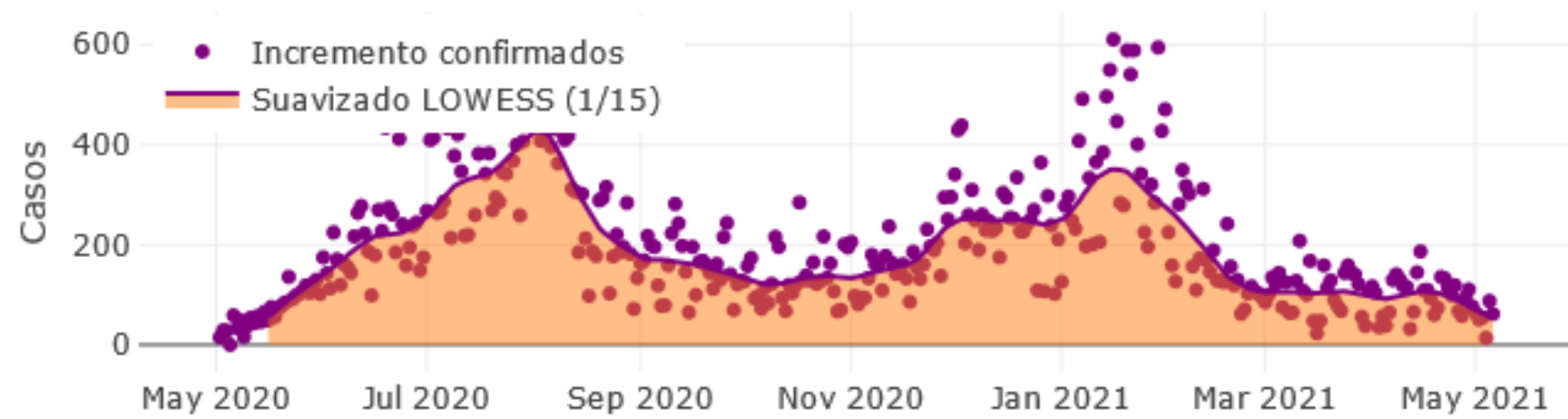


Figura 1: Casos nuevos confirmados en Sonora.

Dada su rápida propagación, se implementaron medidas sanitarias para enfrentar la pandemia. Para concientizar a la población sobre la importancia de ellas, es necesario buscar formas didácticas. Por nuestra formación como físicos, recurrimos a herramientas de simulación computacional (Dinámica Browniana) con el objetivo de buscar analogías para explorar "lúdicamente" la efectividad de las medidas sanitarias.

Metodología

Dinámica Browniana (DB)

En este método de simulación computacional se busca encontrar la trayectoria de un conjunto de partículas, cuyo movimiento es descrito por la ecuación de Langevin (Ec. 1). Se fundamenta en el hecho de que las partículas en un líquido ejecutan un movimiento térmico aleatorio, conocido como *movimiento browniano*, que puede describirse por una fuerza viscosa proporcional a la velocidad de la partícula y una fuerza aleatoria que fluctúa rápidamente.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \underbrace{-\gamma\vec{v}}_{\text{Sistémica}} + \underbrace{\vec{f}(t)}_{\text{Aleatoria}} \quad (1)$$

Algoritmo de Ermak

Con este algoritmo se obtiene la trayectoria de cada una de las N partículas de la simulación. Para calcular una nueva posición, se suman tres términos:

$$\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_{i0}(t) + \frac{\mathbf{F}_i}{\gamma} \Delta t + \mathbf{R}_i(t) \quad (2)$$

El 1° es la posición anterior, el 2° es el desplazamiento debido a la interacción coloide-coloide y el 3° es el desplazamiento debido a la interacción coloide-solvente.

Analogía 1: Sistema Físico - Población

Se modeló una población de personas como si fueran un sistema coloidal de partículas (discos de diámetro $\sigma = 1\text{m}$), ejecutando un movimiento browniano bidimensional (X, Y). La densidad poblacional se modeló mediante una concentración reducida o adimensionalizada (número de partículas sobre área reducida) de $n^* = 0.004829$, correspondiente al territorio de Hermosillo sin incluir poblados aledaños.

Analogía 2: Potencial de Interacción - Sana Distancia

Se modeló la medida sanitaria de sana distancia, mediante una función de energía potencial adimensionalizada, a partir de la cual se obtienen fuerzas de repulsión:

$$U_{PI}^*(r^*) = \left(\frac{r_0^*}{r^*} \right)^\nu \quad (3)$$

Donde r_0^* es la sana distancia, ν la intensidad de la sana distancia, $r^* = \frac{r}{\sigma}$ y $U^* = \beta U = \frac{1}{k_B T} U$.

Analogía 3: Coeficiente de Difusión Libre - Quédete en Casa

Se modeló la medida sanitaria de Quédete en Casa, mediante el parámetro de Quédete en Casa ξ , el cual está relacionado con la reducción del coeficiente de difusión libre; entre mas grande ξ , menor movilidad tendrán las partículas. El algoritmo de Ermak adimensionalizado e incluyendo el parámetro de Quédete en Casa es el siguiente:

$$\mathbf{x}_i^*(t^*) = \mathbf{x}_{i0}^* + \mathbf{F}_{xi}^* \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \Delta t^* + \frac{1}{\sqrt{\xi}} \sqrt{2 \cdot \Delta t^*} \cdot \alpha_{xi} \quad (4)$$

Donde α_i es un número aleatorio con una distribución gaussiana.

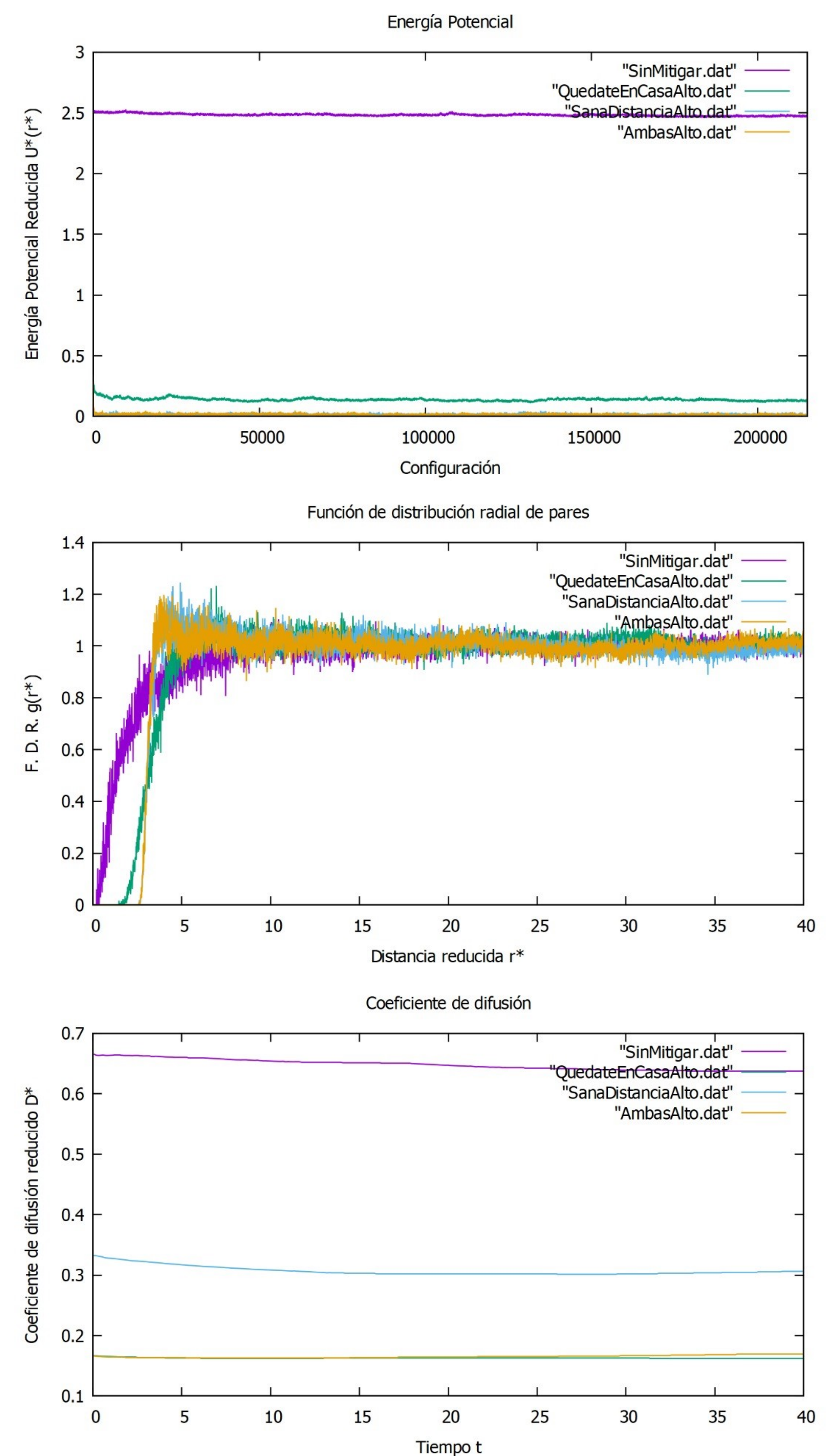
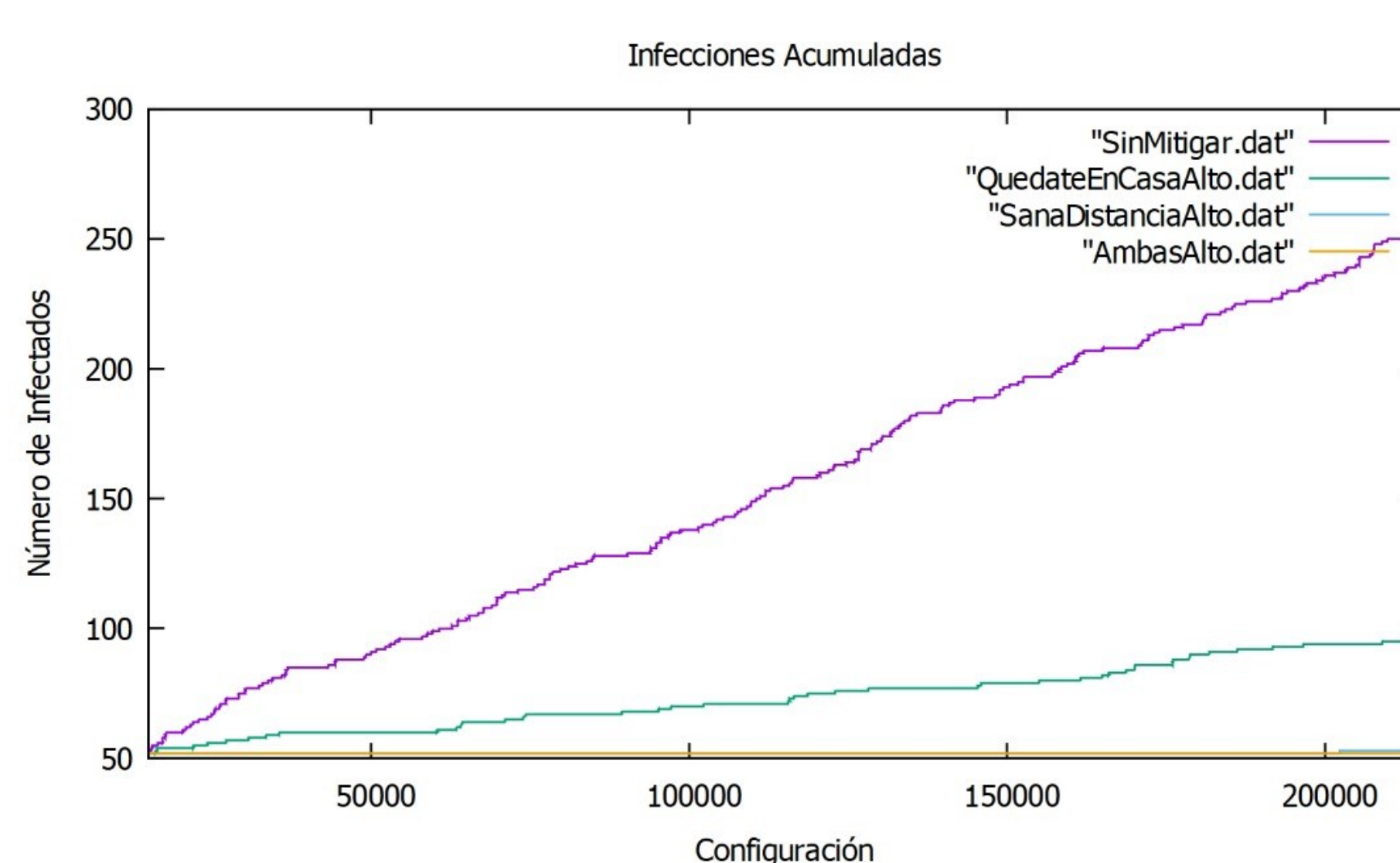
Parámetros de Simulación

Parámetro	Significado	Valor
N	Personas	529
DENS	Concentración reducida	0.004829
DINF	Distancia de infección	2.5
DT	Tiempo de paso	0.0004
NENER	Configuración de termalización	15000
NSTEP	Configuraciones totales	215000
NFREC	Frec. de resguardo de posiciones	200
L	Longitud reducida de la caja	330.978

Estructura Simplificada del Código

- 1 Declarar variables.
- 2 Definir parámetros de simulación.
- 3 Configuración inicial (distribuir aleatoriamente a las personas).
- 4 Algoritmo de Ermak para actualizar las posiciones, guardar estados y contar infectados después de alcanzar el equilibrio.
- 5 Calcular propiedades con configuraciones guardadas.

Resultados



Accesar a código QR para ver animaciones del movimiento e infecciones:



Conclusiones

Fue posible encontrar analogías entre el modelo físico y el modelo de infección, logrando explorar la efectividad de las medidas sanitarias con el uso del método de DB. De los resultados obtenidos, el seguir ambas medidas de "Quédete en Casa" y "Sana Distancia" en conjunto, reducen considerablemente el número de contagios. Por si sola, la medida de "Sana Distancia" es la más efectiva en el caso particular de los parámetros elegidos, ya que si ésta es seguida por todas las personas en todo momento y lugar, se reduce considerablemente la velocidad de infección al estar las personas fuera de la distancia de infección. Este trabajo sirve como una herramienta didáctica para la enseñanza de DB y para la concientización del seguimiento de las medidas sanitarias para enfrentar la actual pandemia.

Referencias

- [1] OMS: www.who.int/es/
- [2] COVID-19 Sonora: covid19data.unison.mx
- [3] Allen M. P., D. J. Tildesley "Computer Simulation of Liquids". Clarendon Press
- [4] L. L. Yeomans "Métodos y Herramientas para el Estudio de la Materia Condensada Blanda" Colección Textos Académicos, No. 119.