



LXIII Congreso Nacional de Física

"Exploración de la epidemia COVID-19 en municipios de Sonora con simulaciones de Dinámica Browniana"

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

UNIVERSIDAD DE SONORA

Hermosillo, Sonora

Octubre 7 de 2020

Contenido

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

1 Motivación

2 Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
 - Propiedades
 - Algoritmo de Ermak

3 Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación

■ Generalidades del Código

4 Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
 - Acumulados
 - Termalización
 - $G(r)$
 - $W(t)$
 - $D(t)$

5 Conclusiones

Motivación

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección
Parámetros de Simulación
Generalidades del Código

Resultados

GIF's
Contagios
Comparativos
Acumulados
Termalización
 $G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Ante los retos por la situación actual del mundo debido a la contingencia sanitaria por la epidemia COVID-19, es necesario buscar formas didácticas para concientizar a la población sobre la importancia de las medidas sanitarias.

Por nuestra formación como físicos, recurrimos a herramientas de simulación computacional, específicamente simulaciones de Dinámica Browniana, utilizando analogías para explorar "lúdicamente" la efectividad de las medidas sanitarias propuestas por la Secretaría de Salud en México.

Evolución del COVID en Sonora

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

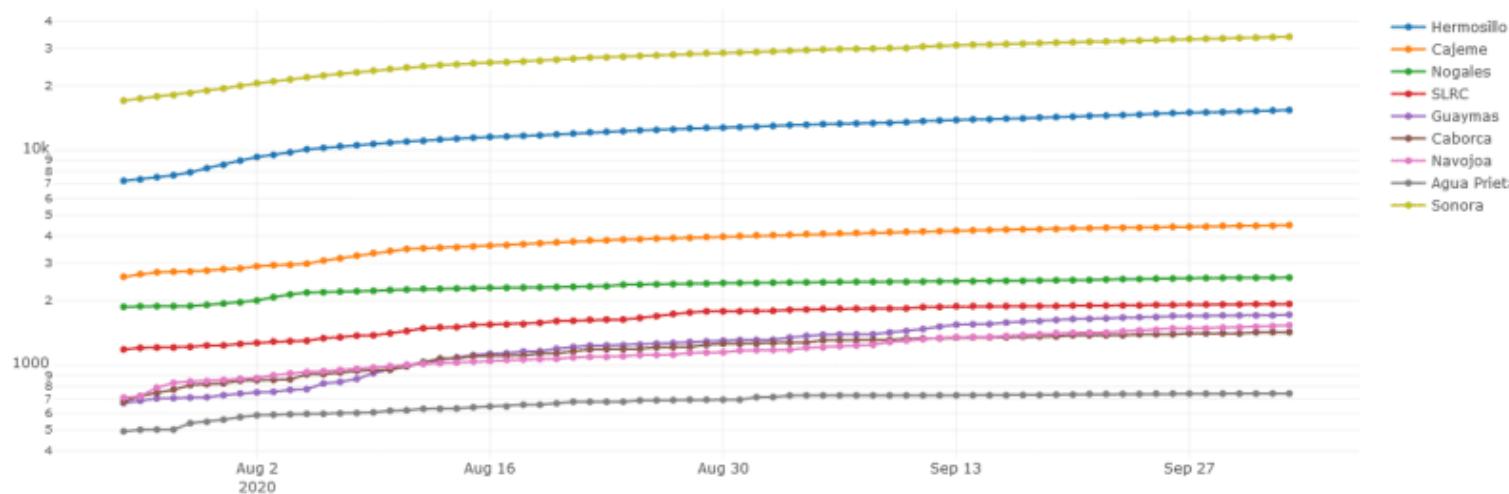
Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

COVID-19

Es la enfermedad infecciosa causada por el coronavirus que se ha descubierto más recientemente. Los síntomas más habituales son la fiebre, la tos seca y el cansancio.



Dinámica Browniana

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Método de Dinámica Browniana

El propósito de este método es encontrar la trayectoria de un conjunto de partículas utilizando la ecuación de Langevin como ecuación de movimiento.

El método 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 más una fuerza aleatoria que fluctúa rápidamente. Entonces la ecuación de movimiento (Langevin) para una partícula es:

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

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Algunas propiedades medibles del sistema

- *Desplazamiento Cuadrático Medio:* Denotado como $W(t)$ o $\langle d^2 \rangle$ es una medida de la desviación de la posición de una partícula con respecto a una posición de referencia en el tiempo.
- *Coeficiente de Difusión o Difusión Libre:* Denotado como $D(t)$ o D_0 es un valor que representa la facilidad con que cada soluto se mueve en un disolvente. En otras palabras, es la pendiente de $W(t)$, encargada de determinar la movilidad de la partícula.
- *Función de Distribución Radial:* Denotada como $G(r)$ mide la probabilidad de encontrar una partícula a una distancia dada r de otra considerada fija, ambas inmersas en el líquido.

Dinámica Browniana: Escalas de Tiempo

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

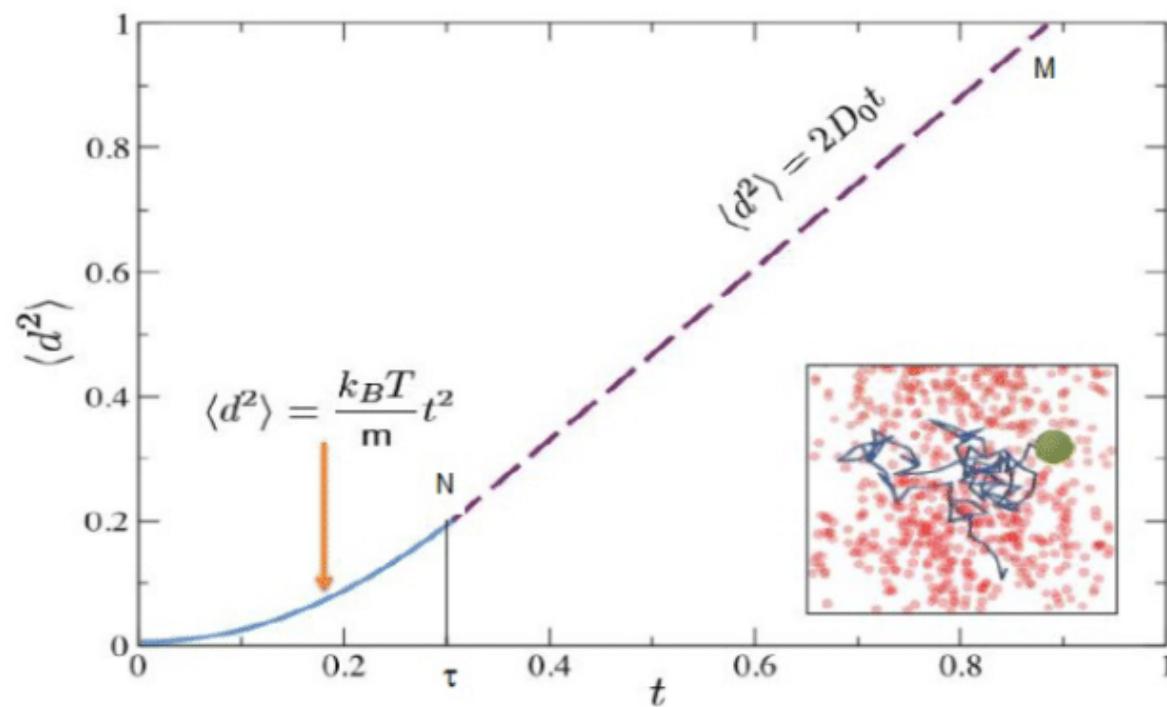
Conclusiones



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Solucionando la ecuación (1) en la parte estocástica aparece el término característico $\tau_D = \frac{M}{\gamma}$, entonces es posible analizar entre dos regímenes:

$$t \ll \tau_D \quad (t \rightarrow 0) \qquad t \gg \tau_D \quad (t \rightarrow \infty)$$



Algoritmo de Ermak

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

En el régimen difusivo, para $t \gg \tau_D$ podemos considerar:

$$M \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dt} \approx 0$$

Sustituyendo en la ecuación (1) y considerando la solución a concentración finita de macropartículas, entonces:

$$0 = -\gamma v_i + f_i(t) + F_i(t) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Luego:

$$v_i = \frac{1}{\gamma} F_i + \frac{1}{\gamma} f_i \rightarrow \frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} (F_i + f_i) \Rightarrow dx_i = \frac{1}{\gamma} (F_i + f_i) dt$$

Considerando un intervalo de tiempo Δt suficientemente pequeño para tener a F_i y f_i como constantes e integrando:

$$\underbrace{x_i(t) - x_{0i}(t)}_{\text{Desplazamiento Neto}} = \underbrace{\frac{F_i}{\gamma} \Delta t}_{\text{Coloide-Coloide}} + \underbrace{\frac{f_i}{\gamma} \Delta t}_{\text{Coloide-Solvente}}$$

Algoritmo de Ermak

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

De esta forma, denotando por:

$R_i \rightarrow$ Desplazamiento Aleatorio

Por tanto:

$$x_i(t) = x_{0i}(t) + \frac{F_i}{\gamma} \Delta t + R_i(t)$$

Es el Algoritmo de Ermak de las posiciones, es decir, con este algoritmo movemos a las coordenadas de cada una de las N partículas de la simulación.

Dado que en Dinámica Browniana necesitamos las fuerzas de interacción F_i entre las macropartículas, solo podemos hacer uso de modelos de potencial $U(r)$ continuos.

Sistema Físico → Población

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones

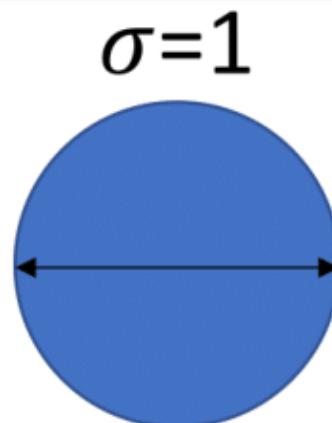


"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

■ Sistema coloidal

■ Partículas (discos de diámetro $\sigma = 1m$) → Personas

■ Movimiento Browniano en dos dimensiones (X, Y)



Concentración Reducida → Densidad Poblacional Reducida

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Definición de Concentración Reducida

$$n^* = n\sigma^2 = \frac{N}{A}\sigma^2$$

De donde:

- n es la concentración del sistema (densidad poblacional)
- N es el número de habitantes
- A es el área superficial del territorio
- σ es el diámetro de las personas

Concentración Reducida → Densidad Poblacional Reducida

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

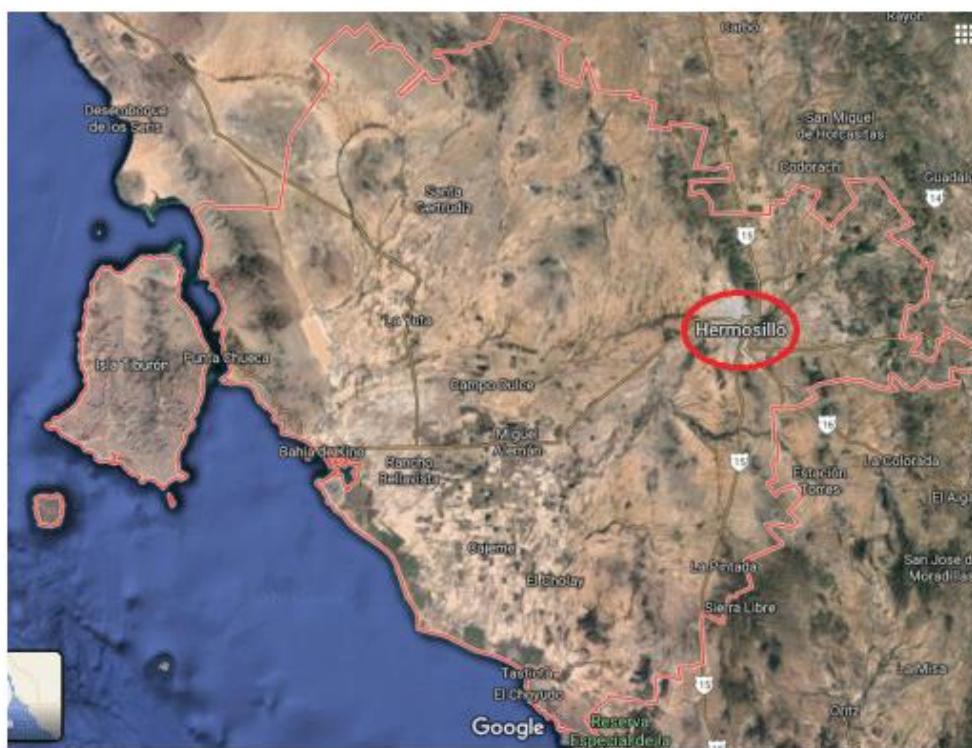
$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- Población de Hermosillo (INEGI, 2015, sin incluir poblados aledaños): 812,229 habitantes.
- Territorio de Hermosillo (sin incluir poblados aledaños): 168.2 km^2
- $n^* = 0.004829$



Modelo de Potencial de Interacción → Susana Distancia

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Definición del Potencial Reducido

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

De donde:

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

Modelo de Potencial de Interacción → Susana Distancia

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

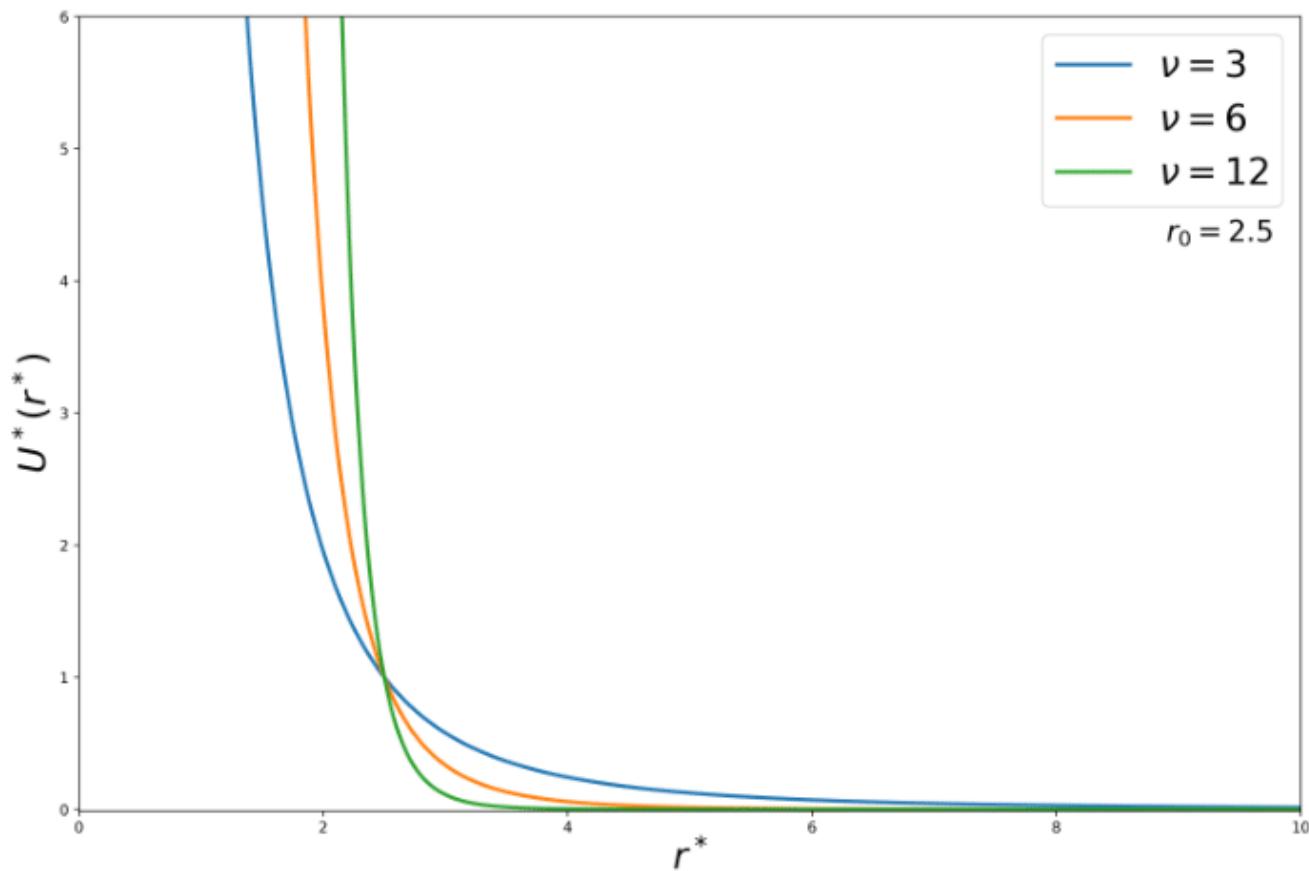
Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

El algoritmo de Ermak presentado anteriormente lo reducimos (adimensionalizamos).

■ Reducción en longitud:

$$x_i(t) = x_{0i}(t) + \frac{F_i}{\gamma} \Delta t + R_i(t)$$

$$x_i^*(t) = x_{0i}^*(t) + \frac{F_i}{\gamma\sigma} \Delta t + R_i^*(t)$$

$$x_i^* = \frac{x_i}{\sigma} \quad x_{0i}^* = \frac{x_{0i}}{\sigma} \quad R_i^* = \frac{R_i}{\sigma}$$

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

■ Reducción en fuerza y tiempo:

$$F_i^* = F_i \beta \sigma$$

$$\frac{F_i \Delta t}{\gamma \sigma} = \frac{F_i^* \Delta t}{\beta \sigma^2 \gamma} = \frac{F_i^* D_0 \Delta t}{\sigma^2} = \frac{F_i^* \Delta t}{\left(\frac{\sigma^2}{D_0}\right)} = \frac{F_i^* \Delta t}{\tau_0} = F_i^* \Delta t^*$$

$$D_0 = \frac{1}{\beta \gamma} \quad \tau_0 = \frac{\sigma^2}{D_0} \quad t^* = \frac{\Delta t}{\tau_0}$$

Coeficiente de Difusión Libre → Quédate en Casa

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

■ Reducción en fuerza y tiempo

$$x_i^*(t^*) = x_{i0}^* + F_i^* \Delta t^* + R_i^*$$

$$R_i^* = \frac{R_i}{\sigma} = \frac{\sqrt{W(\Delta t)}}{\sigma} \alpha_i = \sqrt{\frac{2D_0}{\sigma^2} \Delta t} \alpha_i$$

$$R_i^* = \sqrt{\frac{2}{\tau_0} \Delta t} \alpha_i = \sqrt{2\Delta t^*} \alpha_i$$

$$\underline{x_i^*(t^*) = x_{i0}^* + F_i^* \Delta t^* + \sqrt{2\Delta t^*} \alpha_i}$$

$$W(\Delta t) = 2D_0 \Delta t$$

α_i es un número aleatorio con distribución gaussiana

Coeficiente de Difusión Libre → Quédate en Casa

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Consideraremos el caso de la mitigación de quédate en casa, que es un llamado para reducir la movilidad de las personas. Esto es análogo a decir que en un sistema coloidal su coeficiente de difusión disminuya. Al aplicar esta medida, el algoritmo de Ermak adquiere la siguiente forma:

$$x_i^*(\tilde{t}) = x_{i0}^* + F_i^* \Delta \tilde{t} + \sqrt{2 \Delta \tilde{t}} \alpha_i$$

$$\Delta \tilde{t} = \frac{\Delta t}{\tilde{\tau}} \quad \Delta t^* = \frac{\Delta t}{\tau}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{\sigma^2}{\tilde{D}_{0i}} \quad \tau = \frac{\sigma^2}{D_{0i}}$$

Coeficiente de Difusión Libre → Quédate en Casa

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

$$\tilde{\tau} \tilde{D}_{0i} = \tau D_{0i}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{D_{0i}}{\tilde{D}_{0i}} \tau = \xi \tau$$

$$\tilde{\tau} = \frac{\Delta t}{\Delta \tilde{t}} \quad \tau = \frac{\Delta t}{\Delta t^*}$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tilde{t}} = \xi \frac{\Delta t}{\Delta t^*}$$

$$\Delta t^* = \xi \Delta \tilde{t}$$

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Por lo tanto el algoritmo de Ermak reducido, tomando en cuenta la medida de mitigación de quédate en casa queda de la siguiente forma:

$$x_i^*(t^*) = x_{i0}^* + F_i^* \frac{1}{\xi} \Delta t^* + \frac{1}{\sqrt{\xi}} \sqrt{2 \Delta t^*}$$

Donde ξ es el parámetro de quédate en casa. Cuando $\xi \rightarrow \infty$ no hay cambios en la posición.

Parámetros de Simulación

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's
Contagios
Comparativos
Acumulados
Termalización
 $G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Nombre del parámetro en el código	Significado	Valor
N	Número de personas	529
DENS	Concentración reducida	0.004829
DT	Tiempo de paso	0.0004
NENER	Configuración a partir del cual se considera que el sistema termalizó	15,000
NSTEP	Número de configuraciones totales	215,000
NFREC	Frecuencia de resguardo de las posiciones (después de la termalización) para el cálculo de propiedades y para guardar el estado de salud de cada persona	200
L	Longitud reducida de la caja bidimensional	330.978

$$L = \sqrt{\frac{N}{DENS}}$$

Lenguajes Utilizados

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección
Parámetros de Simulación
Generalidades del Código

Resultados

GIF's
Contagios
Comparativos
Acumulados
Termalización
 $G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- FORTRAN (simulación)
- Python (animación y graficación)

- Tiempo aproximado de simulación: 1 hora
- Tiempo aproximado para generar la animación (1 GIF): 20 min.
- Servidor del Centro de Cómputo de Física de la Universidad de Sonora (procesador Intel Xeon Gold 5120 cpu @ 2.20ghz).

Estructura General del Código para la Simulación

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- 1. Declarar variables
- 2. Definir parámetros de simulación
- 3. Distribuir aleatoriamente a las personas en la caja bidimensional.
- 4. Inicializar energías y fuerzas.

Estructura General del Código para la Simulación

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- 5. Algoritmo de Ermak para actualización de posiciones (15,000 configuraciones), usando el potencial de potencia inversa ($\nu = 1$, $r_0 = 1$, $\xi = 1$).
- Calcular de fuerzas y energías (solo se guardan energías en cada configuración).
- Termalizar/Equilibrar al sistema con el fin de evitar traslapes y disminuir la energía potencial total (no se guardan posiciones).

Estructura General del Código para la Simulación

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- 6. Algoritmo de Ermak para actualización de posiciones (200,000 configuraciones), usando el potencial de potencia inversa (valores de ν , r_0 , ξ según el caso).

- Calcular fuerzas y energías (solo se guardan energías en cada configuración).
- Se inicia la etapa de contagio al infectar el 10% de la población.
- Si la distancia entre los centros de dos personas (una de ellas contagiada y la otra no) es menor que 2.5, se contagia la otra.
- Se guarda el número de contagios acumulados por cada configuración.
- Se guardan las coordenadas (x, y) de las partículas y su estado de salud (0 no infectado, 1 infectado) cada 200 configuraciones.

Estructura General del Código para la Simulación

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- 7. Con las posiciones guardadas de todas las partículas cada 200 configuraciones a partir de la configuración de termalización, se calculan propiedades estructurales y dinámicas.

- Función de distribución radial vs distancia reducida.
- Desplazamiento cuadrático medio vs tiempo reducido.
- Coeficiente de difusión vs tiempo reducido.

Estructura General del Código para la Simulación

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

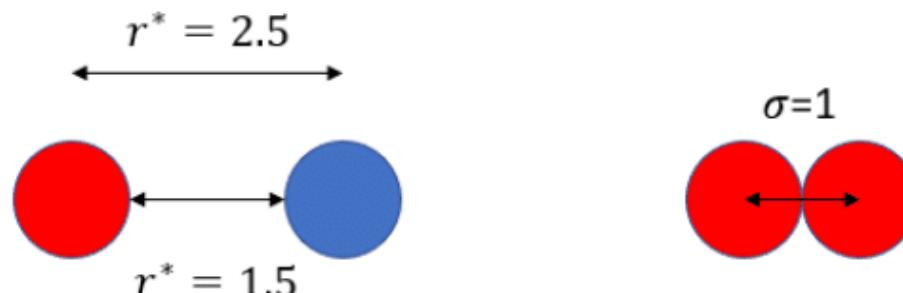
- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Observación: En el código se aprovechó la distancia de centro a centro del cálculo de energía potencial para establecer que si las partículas tenían una distancia de centro a centro menor que $r^* = 2.5$, entonces ocurría un contagio. La distancia más cercana entre ellas (considerándolas no como puntos, sino como círculos) es de $r^* = 1.5$.



Estructura General del Código para la Animación

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora

Dinámica Browniana

Propiedades

Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos

Físico y de Infección

Parámetros de Simulación

Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- 1. Leer los siguientes archivos con la biblioteca Numpy.
 - Matriz de infectados (0 no infectados, 1 infectados) de tamaño 529×1000 .
 - Matriz de coordenadas en X de tamaño 529×1000 .
 - Matriz de coordenadas en Y de tamaño 529×1000 .
- 2. Generar 1000 gráficas creadas con la biblioteca Matplotlib, donde en cada una de ellas deben colocarse a las personas no infectadas (círculos azules) e infectadas (círculos rojos), usando las 3 matrices anteriores.
- 3. Generar GIF usando las 1000 gráficas con la biblioteca imageio.

¿Qué se Observó?

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

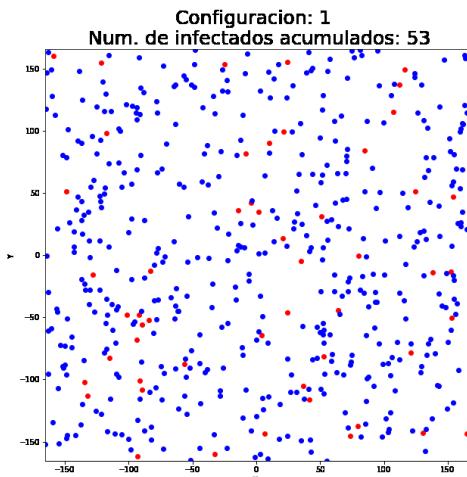
GIF's

- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

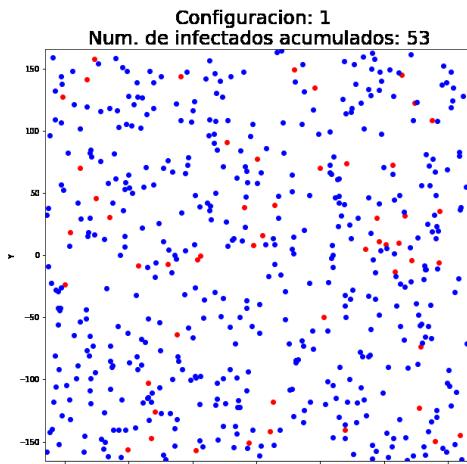
Conclusiones



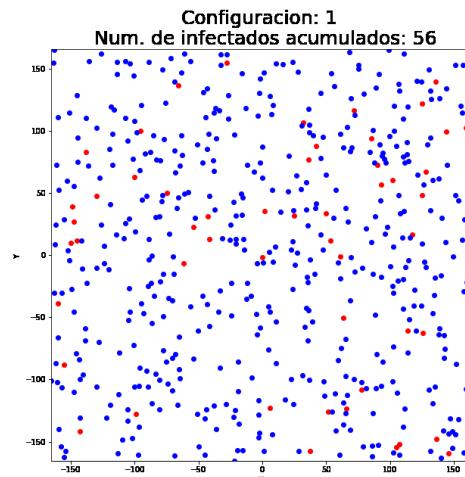
“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



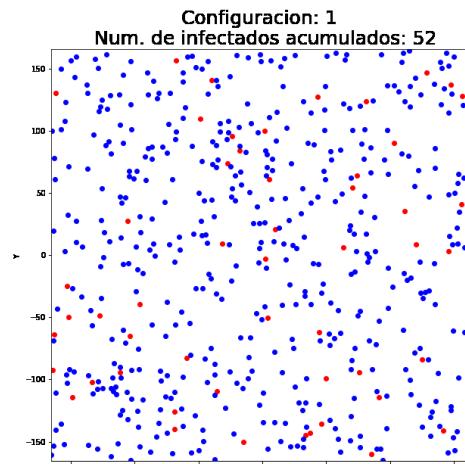
Sin Mitigación



Quédate en Casa $\xi = 4$



Susana Distancia $\nu = 12$



Ambas Mitigaciones MAX

Comparativa General de Mitigaciones

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección
Parámetros de Simulación
Generalidades del Código

Resultados

GIF's

Contagios

Comparativos

Acumulados

Termalización

$G(r)$

$W(t)$

$D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Potencial

$$u_{PI}^*(r^*) = \left(\frac{r_0^*}{r^*}\right)^v$$

Ec. De movimiento

$$x_i^*(t) = x_{i0}^* + F_{xi}^* \cdot \frac{1}{\xi} \cdot \Delta t^* + \frac{1}{\sqrt{\xi}} \sqrt{2 \cdot \Delta t^*} \cdot \alpha_{xi}$$

Distancia de
infección 2.5

Infectados
iniciales 10%
(52 de 529)

	Sana distancia	Intensidad de sana distancia	Quédate en casa	Contagios posteriores totales
Sin medidas sanitarias	1	1	1	201
Solo sana distancia	3	3	1	159
	3	12	1	7
Solo quédate en casa	1	1	2	81
	1	1	4	42
Ambas medidas	3	3	2	97
	3	3	4	44
	3	12	2	1
	3	12	4	0

Acumulación de Infección de Casos Especiales

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

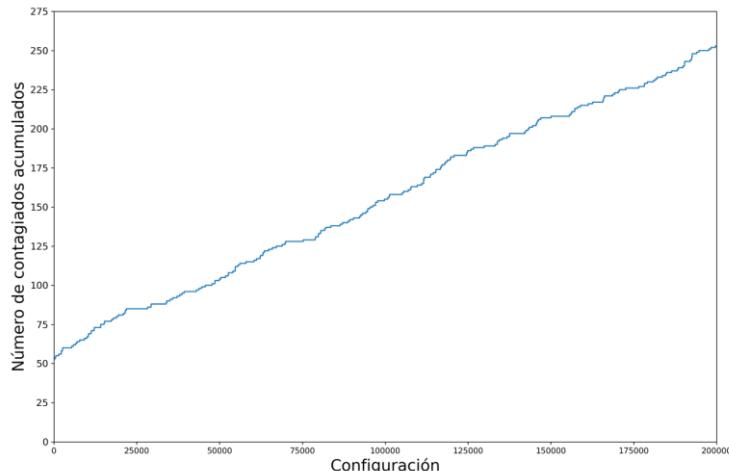
Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados**
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

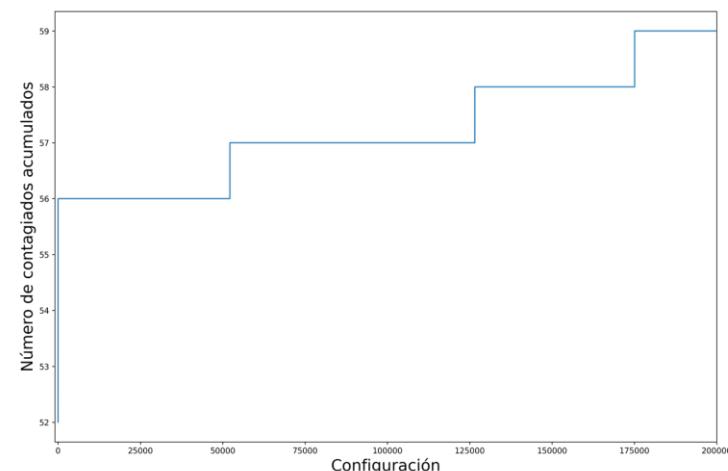
Conclusiones



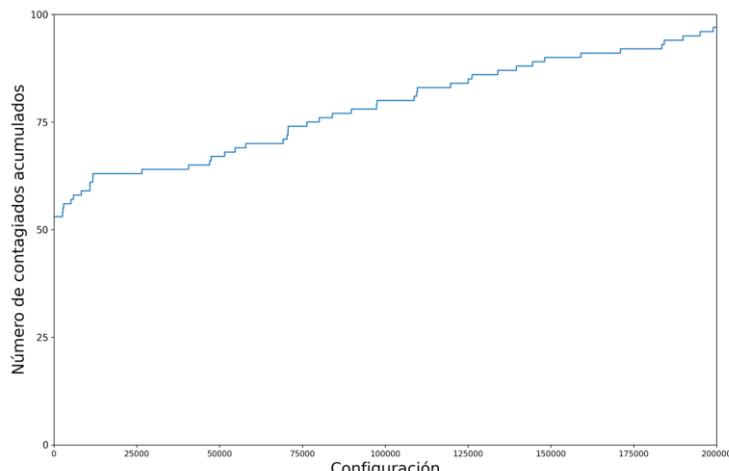
"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



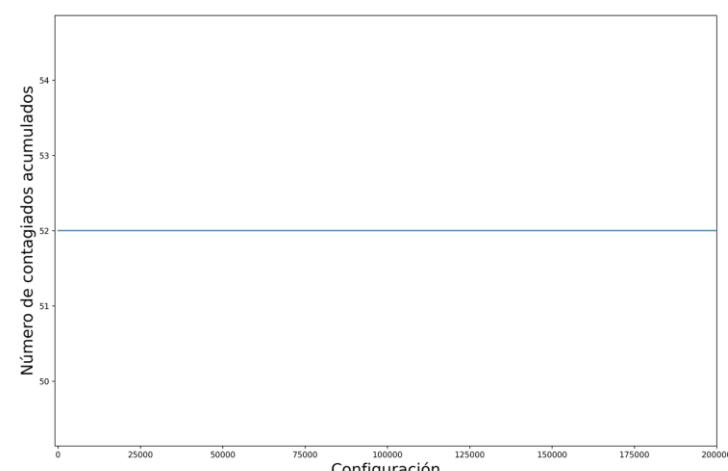
Sin Mitigación



Susana Distancia $\nu = 12$



Quédate en Casa $\xi = 4$



Ambas Mitigaciones MAX

Termalización, ¿Se Mantuvo Equilibrio?

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

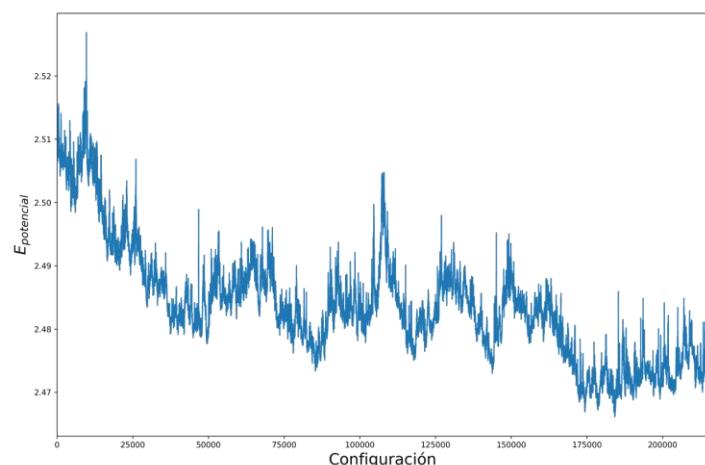
- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización**

$G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

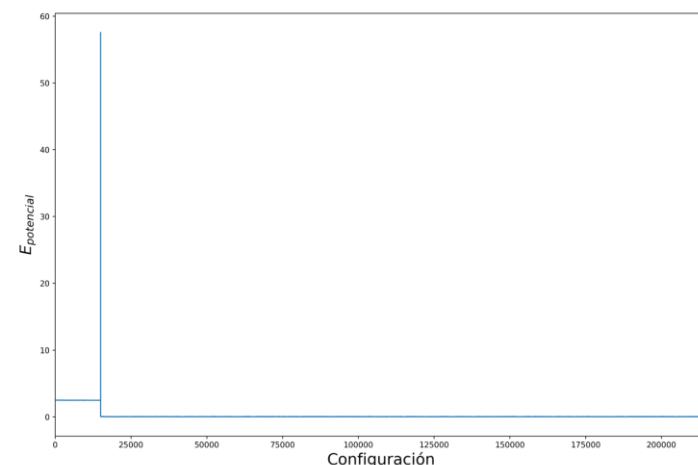
Conclusiones



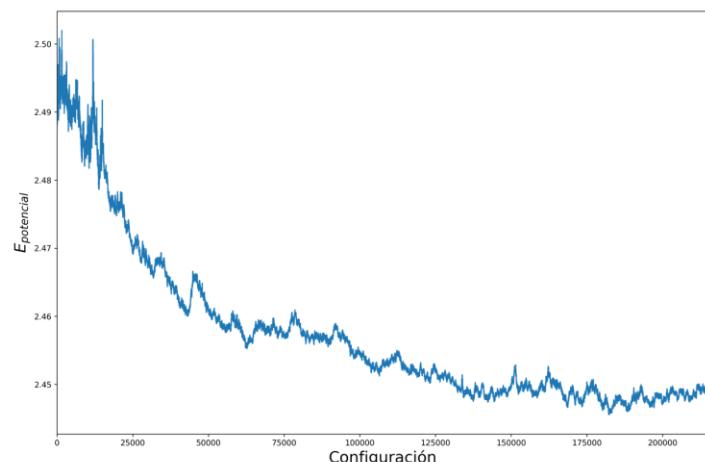
"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



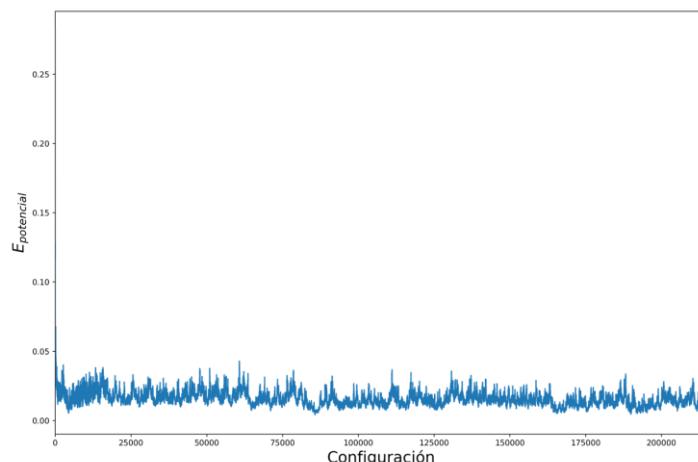
Sin Mitigación



Susana Distancia $\nu = 12$



Quédate en Casa $\xi = 4$



Ambas Mitigaciones MAX

Estructura General, ¿Qué Distancia se Mantuvo?

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

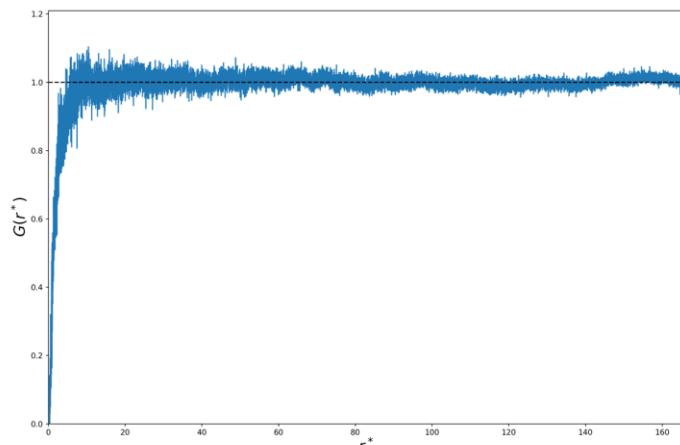
Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$**
- $W(t)$
- $D(t)$

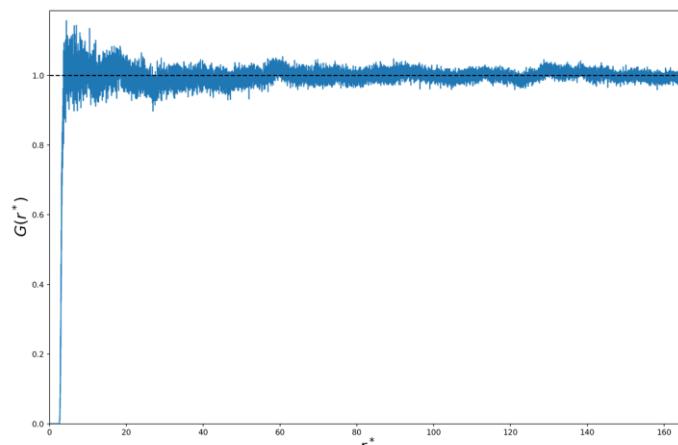
Conclusiones



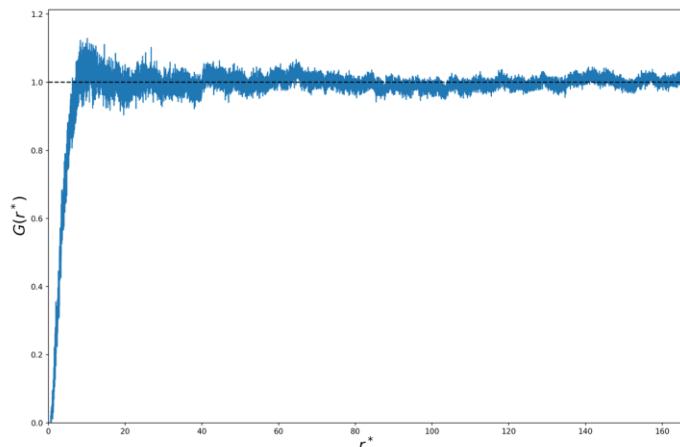
"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



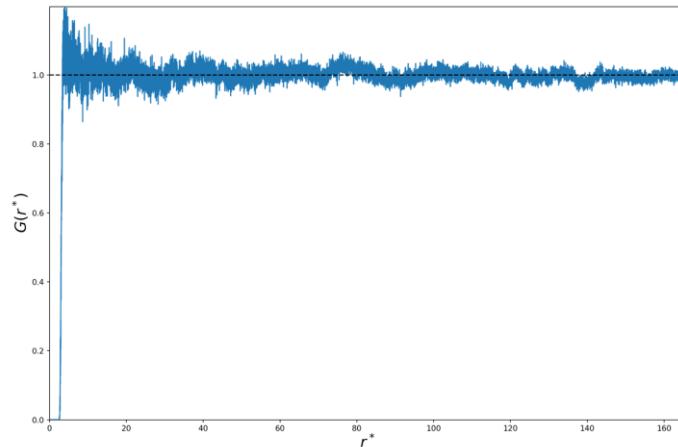
Sin Mitigación



Susana Distancia $\nu = 12$



Quédate en Casa $\xi = 4$



Ambas Mitigaciones MAX

Desplazamiento Cuadrático Medio, ¿Se Redujo su Movimiento?

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

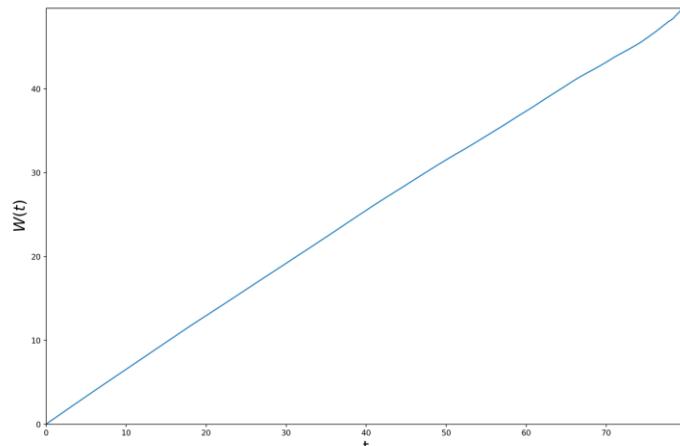
Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

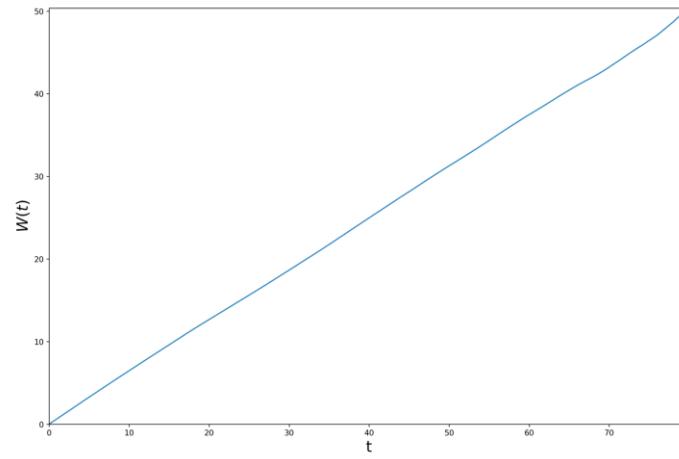
Conclusiones



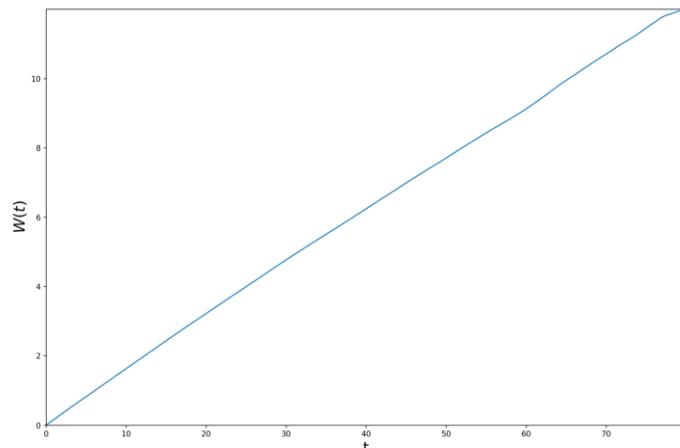
“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



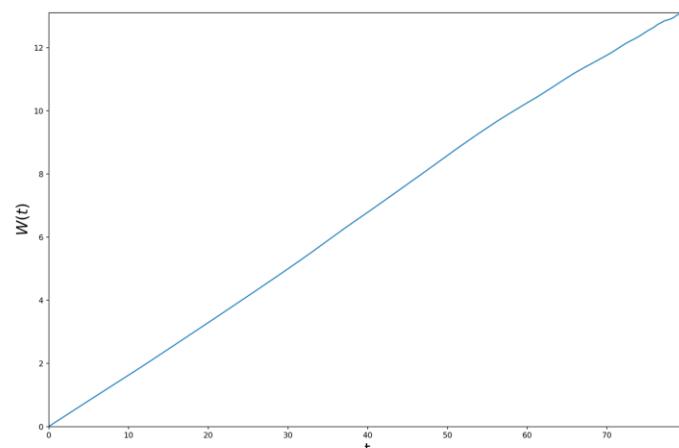
Sin Mitigación



Susana Distancia $\nu = 12$



Quédate en Casa $\xi = 4$



Ambas Mitigaciones MAX

Coeficiente de Difusión

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos
- Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

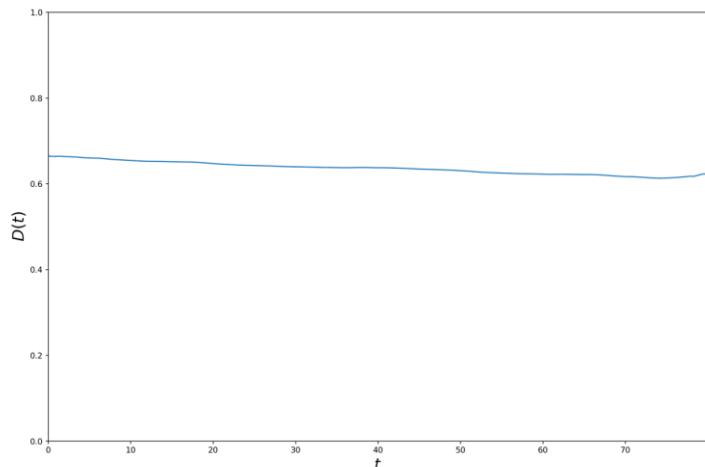
Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

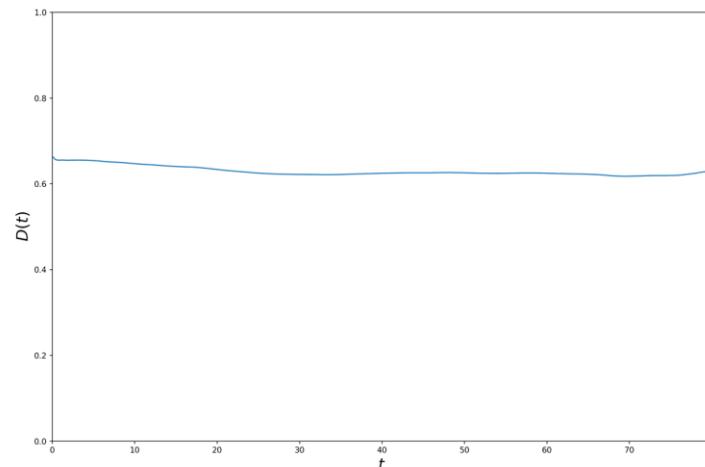
Conclusiones



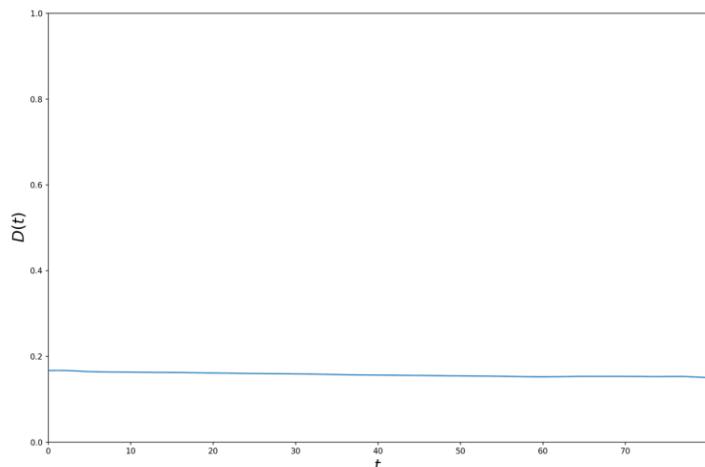
"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



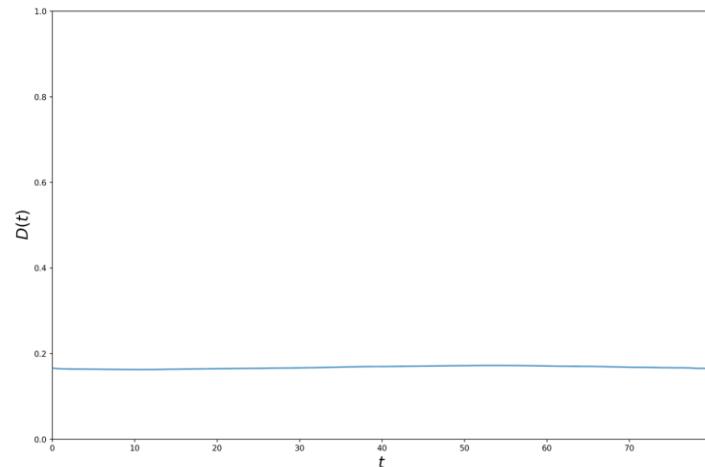
Sin Mitigación



Susana Distancia $\nu = 12$



Quédate en Casa $\xi = 4$



Ambas Mitigaciones MAX

Conclusiones

Motivación

Fundamentos

- COVID-19 Sonora
- Dinámica Browniana
- Propiedades
- Algoritmo de Ermak

Modelación

- Analogías de Modelos Físico y de Infección
- Parámetros de Simulación
- Generalidades del Código

Resultados

- GIF's
- Contagios
- Comparativos
- Acumulados
- Termalización
- $G(r)$
- $W(t)$
- $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Fue posible crear un contexto de analogías entre el modelo físico y el modelo de infección, logrando una exploración de la efectividad de las medidas sanitarias con el uso del método de Dinámica Browniana.

De los resultados podemos rescatar el hecho de que la medida "Sana Distancia" es la más efectiva en la caso particular de los parámetros elegidos.

Agradecimientos y Contacto

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección
Parámetros de Simulación
Generalidades del Código

Resultados

GIF's
Contagios
Comparativos
Acumulados
Termalización
 $G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- Agradecimientos a la *Dra. Laura Lorenía Yeomans Reyna* por su asesoría en la realización del presente trabajo y de igual manera a nuestros compañeros del curso:
Desarrollo Experimental II UNISON Semestre 2020-I.

Estudiantes de Licenciatura en Física UNISON:

- Isaac Neri Gómez Sarmiento, nikonerid3000@gmail.com
- César Omar Ramírez Álvarez, cesaromarramirezalvarez@gmail.com
- Jonás Valenzuela Terán, 24jonass@gmail.com

Referencias

Motivación

Fundamentos

COVID-19 Sonora
Dinámica Browniana
Propiedades
Algoritmo de Ermak

Modelación

Analogías de Modelos
Físico y de Infección
Parámetros de Simulación
Generalidades del Código

Resultados

GIF's
Contagios
Comparativos
Acumulados
Termalización
 $G(r)$
 $W(t)$
 $D(t)$

Conclusiones



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

- Frenkel D. (2002). "*Understanding Molecular Simulation*". Academic Press
- Allen M. P., D. J. Tildesley "*Computer Simulation of Liquids*". Clarendon Press
- L. L. Yeomans "*Métodos y herramientas para el estudio de la materia condensada blanda*" Colección Textos Académicos, No. 119.
- Aponte-Santamaría, Camilo Fayad, Ramon Muñoz, Jose. (2006). "*Simulacion por dinamica browniana del transporte ionico a traves del canal gramicidina a*". Revista de la Sociedad Colombiana de Física, ISSN 0120-2650, N°. 4.
- COVID-19 Sonora: <https://covid19data.unison.mx/>

Gracias...!



I. Gómez, C. Ramírez, J. Valenzuela