

# Trabajo final

## Disease spreading in populations of moving agents

M.Paula Caral\*

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires,  
Pabellón I, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina.

(A. Buscarino, L. Fortuna, M. Frasca y V. Latora)

### I. El paper original

En este trabajo se recreó uno de los resultados del paper *Disease spreading in populations of moving agents* de A. Buscarino, L. Fortuna, M. Frasca y V. Latora [1]. En dicha publicación se estudia el efecto que tiene el factor *long jump* en la simulación de la propagación de una enfermedad en agentes que pueden moverse. Un *long jump* representa la posibilidad de los individuos de viajar largas distancias. En la simulación, esto se incluye considerando que los agentes se ubican en cualquier posición aleatoria de la celda con una probabilidad  $p_j$ . Un resultado primordial de este trabajo es que el número de infectados  $N_I$  alcanza su máximo mucho antes en el tiempo cuanto mayor es la probabilidad  $p_j$ . Asimismo, el valor de este máximo aumenta con  $p_j$ , infiriendo que es mayor la cantidad de individuos que se contagian en este caso. Este es el resultado que se recreó en este trabajo.

### II. La simulación

#### A. Número de infectados según $p_j$

Como la idea es recrear el resultado que obtienen los autores en su publicación, se desarrolló código en C que imitara la simulación que hicieron, tal como la describen en el paper. El código puede verse en el siguiente repositorio de GitHub (link).

Tal como se indica en la publicación, la simulación se realizó para un total de  $N = 1000$  agentes, una densidad de agentes  $\rho = 1$ , módulo de la velocidad  $v = 0,1$ , probabilidad  $\lambda = 0,1$  de que un agente susceptible se infecte y probabilidad  $\mu = 0,05$  de que un agente infectado se recupere. La cantidad inicial de infectados fue de  $N_I = 10$  y se realizaron 300 frames de simulación (representando el tiempo  $t$ ). Para un valor de  $p_j$  fijo, la simulación se realizó 100 veces con el fin de promediar los valores de  $N_I(t)$  y obtener mejores resultados.

Finalmente, los valores de  $p_j$  utilizados fueron 0, 0,01, 0,1 y 1.

En la figura 1 se puede ver el resultado obtenido para los valores de  $N_I$  en función del tiempo usando las

simulaciones del código desarrollado en C. Para realizar este gráfico, los datos se procesaron en Python (dicho código también está incluido en el repositorio de GitHub).

Como extra, se visualizaron las simulaciones frame a frame en una animación (también realizada con Python), lo cual permite ver de forma clara qué sucede en la celda. El video de la animación puede verse en el mismo repositorio de GitHub. Con esta visualización se puede observar cómo el número de infectados (en rojo) aumenta y disminuye muy rápidamente para  $p_j = 1$ , mientras que para  $p_j = 0$  se observan grupos pequeños de agentes en rojo, es decir, se propaga muy poco la enfermedad.

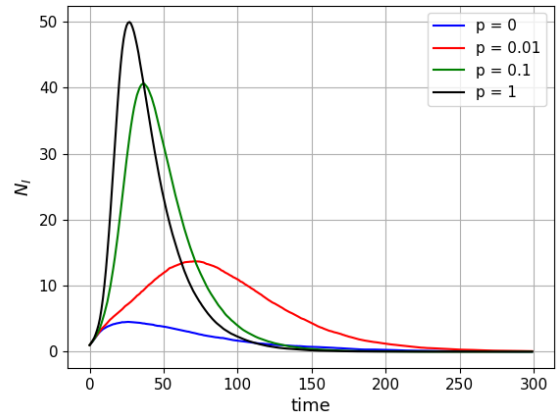


Figura 1: Resultados logrados con la simulación hecha en C, imitando la simulación del trabajo original.

#### B. Número de infectados según $\mu$

Es posible estudiar también qué ocurre si se varía el tiempo infectivo, es decir, durante cuánto tiempo un agente infectado permanece infectado y puede contagiar a uno susceptible. En la simulación esto se realizó modificando el parámetro  $\mu$  que representa la probabilidad de que un agente infectado se recupere. Cuanto más grande es la probabilidad  $\mu$ , más chico es el tiempo infectivo y viceversa.

En el gráfico de la figura 2 se puede ver la compa-

\* paulacaral@hotmail.com

ración entre los resultados obtenidos originalmente (figura 1,  $\mu = 0,05$ , líneas sólidas) y los obtenidos con un nuevo valor de  $\mu = 0,01$  (líneas punteadas). Los nuevos datos corresponden a un tiempo infectivo mayor, y eso se refleja en las curvas obtenidas: para un mismo valor de probabilidad, los máximos de número de infectados son mayores, lo cual tiene sentido porque significa que más agentes llegan a infectarse. En el caso específico en que la probabilidad de *long jump* es  $p_j = 0$ , cuando la probabilidad era  $\mu = 0,05$ , casi no había infectados y la propagación de la enfermedad quedaba controlada; ahora con  $\mu = 0,01$  tenemos un 20 % más de infectados. A su vez, el tiempo que lleva que todos los agentes infectados se recuperen es mucho mayor. De hecho, los 300 frames iniciales no son suficientes para ver que la curva de  $N_I(t)$  se anule completamente.

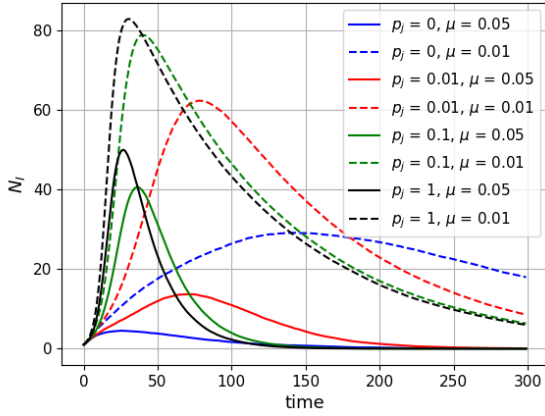


Figura 2: Comparación de resultados originales ( $\mu = 0,05$ ) vs los nuevos modificando el tiempo infectivo ( $\mu = 0,01$ ).

Otra comparación interesante es ver qué sucede para diferentes valores de  $\mu$  con una probabilidad  $p_j$  fija. En la figura 3 se pueden ver las curvas correspondientes a probabilidad de *long jump*  $p_j = 0$  y diferentes  $\mu$ . Se observa nuevamente el comportamiento esperado: estando los agentes fijos (se mueven solo en un pequeño entorno de su posición original), el aumento de  $\mu$  hace que la propagación sea cada vez más controlada. Específicamente, el número de infectados es básicamente nulo cuando probabilidad de recuperarse es máxima.

De la misma forma, el gráfico de la figura 4 muestra las curvas para diferentes valores de  $\mu$  cuando  $p_j = 1$ . Cualitativamente se observa lo mismo que en el caso anterior: cuanto mayor es la probabilidad de recuperación  $\mu$ , menor es la propagación de la enfermedad. No obstante, hay una gran diferencia en la forma funcional

que siguen las curvas respecto del caso con  $p_j = 0$ . Los máximos de  $N_I$  en este caso son mayores (indicando que la probabilidad de viajar a largas distancias influye directamente en la propagación de la enfermedad) y su decrecimiento ocurre más rápido en el tiempo. En otras palabras: se infecta una cantidad mayor de agentes en menor tiempo pero también se recuperan más rápido (pues se contagian antes).

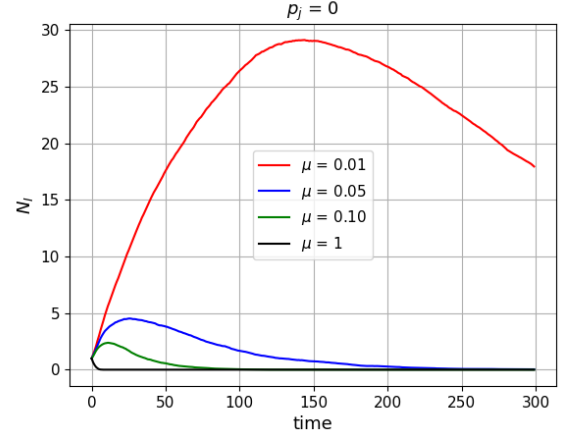


Figura 3: Curvas obtenidas para probabilidad de *long jump* fija en  $p_j = 0$  y diferentes valores de probabilidad de recuperación  $\mu$ .

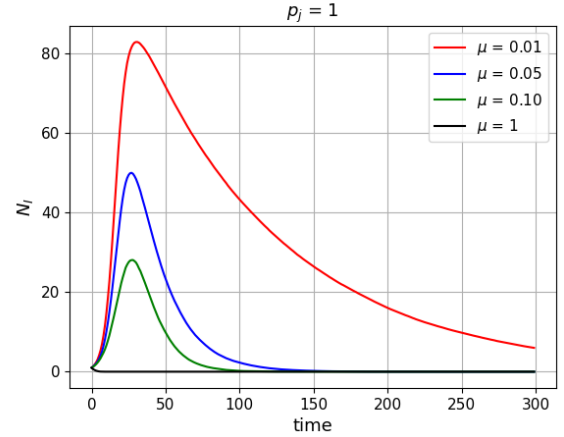


Figura 4: Curvas obtenidas para probabilidad de *long jump* fija en  $p_j = 1$  y diferentes valores de probabilidad de recuperación  $\mu$ .