



Facultad de Ciencias

UNAM

Seminario de Ciencias de la Computación A

Grupo 7119 2024-1

Proyecto Final:

Extensión del modelo de virus de NetLogo

Arturo González Bretón
Dekel Mordejai Dafni Frappé



5 de Diciembre de 2023

1 | Introducción

La pandemia provocada por SARS-COV-2 trajo consigo un sinnúmero de desafíos cuando aún no contábamos con las herramientas ni el conocimiento necesario para afrontar estos retos de forma óptima y mitigar al máximo las consecuencias de la rápida propagación de la enfermedad causada por este virus. En el aspecto sanitario, la falta de medidas de contención implementadas oportunamente provocó la rápida propagación de la enfermedad, saturando los sistemas de salud y con ello, aumentando así, la mortalidad del virus.

Conforme se fueron más conocimientos sobre el comportamiento de este agente infeccioso, se fueron poniendo en práctica medidas para prevenir contagios y con ello, reducir la mortalidad de la enfermedad causada por este virus. De las estrategias implementadas para reducir el número de contagios, las tres que más destacan son: distanciamiento social, uso de cubrebocas y uso de vacunas.

Cada una de estas medidas de prevención presenta ventajas sobre las demás y dificultades al momento de implementarse, por lo que, considerando que la enfermedad causada por SARS-COV-2 es ahora una enfermedad endémica, es de suma importancia seguir estudiando estas medidas de contención para prevenir futuros rebrotes.

Existen diversos artículos que utilizan modelos basados en agentes que toman como base el modelo SIR para pronosticar el comportamiento de la pandemia en territorios específicos, sin embargo, la mayoría de trabajos realizados

2 | Objetivo General

Describir el comportamiento del virus SARS Cov-2 en un espacio abierto y delimitado con una densidad de población del 50%, utilizando una extensión del modelo basado en agentes VIRUS de NetLogo.

3 | Objetivos Específicos

- Determinar la eficacia de cada una de las tres estrategias (distanciamiento social, uso de cubrebocas y uso de vacunas) para prevenir contagios.
- Identificar la mejor combinación de estrategias para reducir los contagios.

4 | Implementación

Para implementar el modelo basado en agentes con el que se realizarán los experimentos correspondientes a los objetivos, se utilizará el ambiente NetLogo en su versión 6.0.3. La dinámica se llevará a cabo en una retícula toroidal de 33×33 celdas con agentes en forma de persona que serán colocados aleatoriamente.

Las variables globales que utiliza el modelo son las siguientes:

- Emax: tiempo en el que se alcanza el pico de infectados.
- max-infected: máximo número de infectados al mismo tiempo.
- poblacion-inicial: número inicial de agentes.
- muertos: número de agentes muertos.
- total-infected: total de agentes infectados.
- susceptibles-iniciales: agentes sanos iniciales.

- contagios-contacto: agentes que se contagiaron por contacto.
- contagios-estornudo: agentes que se contagiaron por estornudo.
- contagios: agentes que se contagiaron.

Estas variables se utilizarán para reportar los siguientes valores:

- Población inicial.
- Población restante (cantidad y porcentaje con respecto a la inicial).
- Contagios (cantidad total y porcentaje con respecto a al total de susceptibles iniciales).
- Máximo número de infectados al mismo tiempo (cantidad y porcentaje respecto a la población inicial).
- Muertes (Cantidad y porcentaje respecto al total de infectados).
- Susceptibles finales (cantidad y porcentaje respecto al total de susceptibles iniciales).
- Porcentaje de contagios por estornudo.
- Porcentaje de contagios por contacto.

Los patches tendrán la siguiente propiedad:

- residuo: Residuo de estornudos que queda en el patch.

Todos los agentes tendrán las siguientes propiedades:

- cubrebocas?: Indica si el agente utiliza cubrebocas
- vacuna?: Indica Si el agente está vacunado
- distanciamiento?: Indica si el agente pone en práctica el distanciamiento social
- inicio-enfermedad: Tick en el que se contagió

Adicionalmente, se utilizará el color de los agentes para distinguir los tres grupos principales en que se dividen:

- **Susceptibles:** Se les colocará el color azul con el fin de identificarlos visualmente de forma sencilla. Esta propiedad también determinará el modelo interno que ejecutará el agente. En la figura 4.1, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo que ejecutarán los agentes susceptibles.
- **Infectados:** Se les colocará el color rojo con el fin de identificarlos visualmente de forma sencilla. Esta propiedad también determinará el modelo interno que ejecutará el agente. En la figura 4.2, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo que ejecutarán los agentes infectados.
- **Recuperados:** Se les colocará el color verde con el fin de identificarlos visualmente de forma sencilla. Estos agentes no formarán parte de la dinámica de contagio debido a que cada agente puede infectarse solamente una vez. En la figura 4.3, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo que ejecutarán los agentes recuperados.

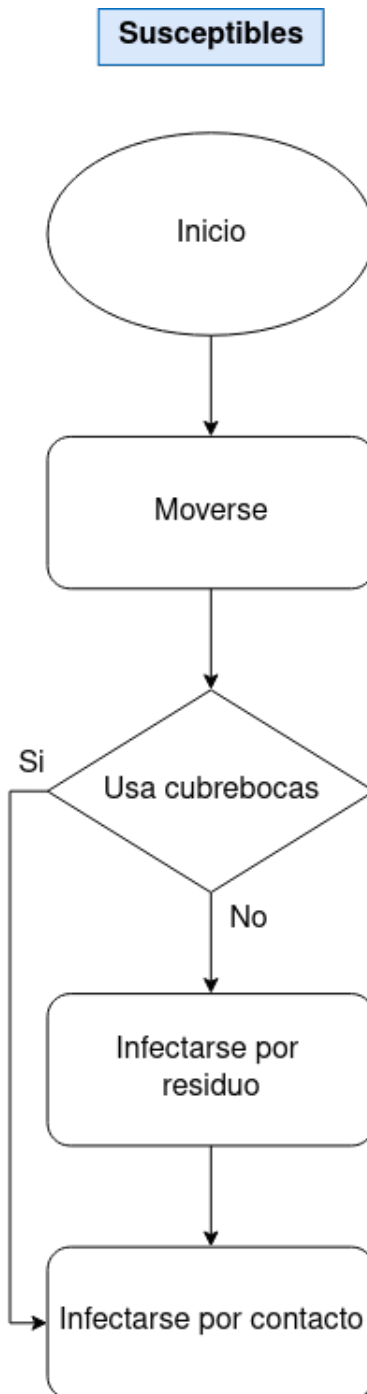


Figure 4.1: Diagrama de flujo Susceptibles

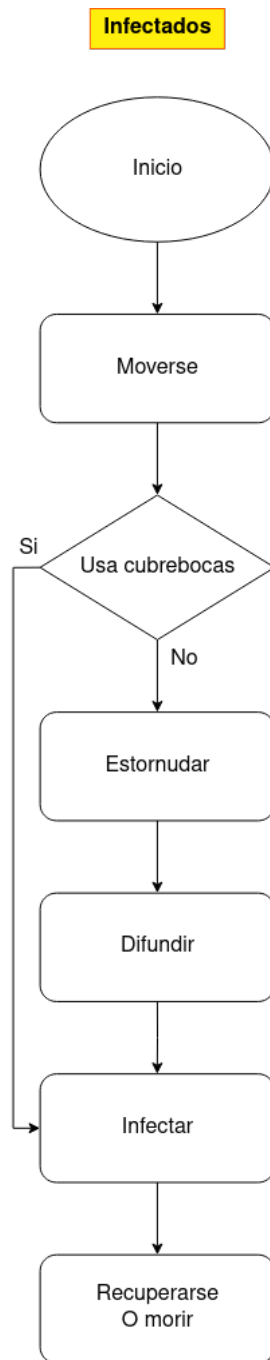


Figure 4.2: Diagrama de flujo Infectados

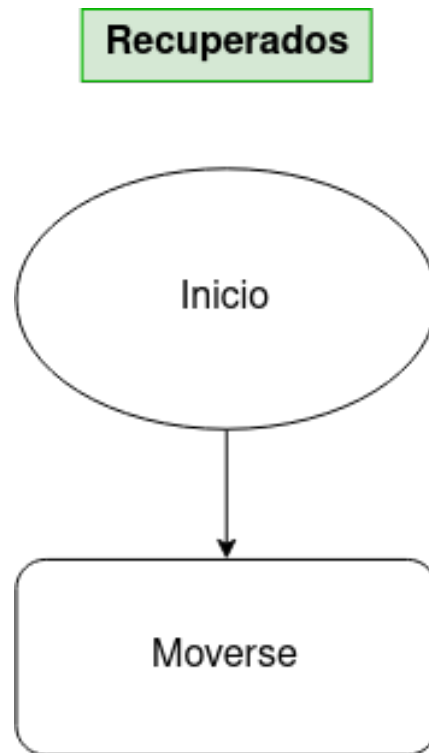


Figure 4.3: Diagrama de flujo Recuperados

Las diagramas de flujo de las subrutinas que conforman los diagramas de flujo presentados previamente, se encuentran en la imagen 4.4

5 | Resultados y Discusión

Los experimentos se realizaron utilizando la herramienta BehaviorSpace de NetLogo. Se registraron los datos en archivos con extensión .csv y se exportaron para su análisis en Excel, donde también se elaboraron las gráficas presentadas en esta sección.

En todos los experimentos llevados a cabo, los valores de interés fueron la cantidad máxima de personas infectadas y la cantidad de muertes. Dentro de la implementación se le asigna un parámetro variable a cada estrategia: p-distanciamiento para el distanciamiento social, p-cubrebocas para el uso de cubrebocas y p-vacuna para la vacunación.

Como primer experimento, se analizó el desempeño de cada una de las estrategias por separado. Es decir, un parámetro varió de 0 a 100 mientras los otros dos permanecieron constantes y con valor de cero. En la Figura 5.1, se muestran las gráficas de los valores de interés en función de cada uno de los parámetros.

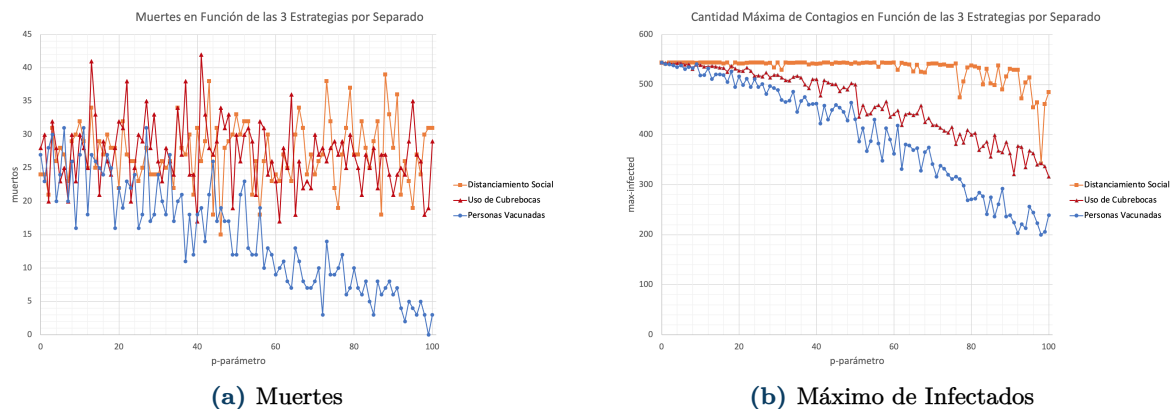


Figure 5.1: Cantidad de muertes y cantidad máxima de personas infectadas para cada estrategia por separado.

En la gráfica (a), se observa que la cantidad de muertes oscila entre 40 y 15 aproximadamente, con distanciamiento social y también con el uso del cubrebocas. Sin embargo, considerando la vacunación, las muertes si disminuyen, llegando incluso a 0 conforme el porcentaje de población vacunada se aproxima a 100. Se puede decir entonces, que la cantidad de muertes es independiente tanto del distanciamiento social como del uso de cubrebocas e inversamente proporcional al porcentaje de personas vacunadas.

En la gráfica (b), se observa que el número máximo de infectados disminuye con las tres estrategias. Sin embargo, considerando solamente distanciamiento social, el valor de interés comienza a disminuir solamente cuando aproximadamente el 80% de la población practica dicha estrategia. Además, la disminución es bastante baja comparada con la que produce el uso de las otras dos estrategias.

A diferencia de lo sucedido con la cantidad de muertes, el número máximo de infectados si disminuye conforme el porcentaje de uso de cubrebocas aumenta. A pesar de eso la vacunación es la estrategia que más disminuye el número máximo de infectados y más rápido. Es decir, incluso cuando un porcentaje pequeño de la población está vacunada, ya se observa la tendencia a disminuir.

El siguiente experimento consistió en evaluar el desempeño de la combinación de dos de las tres estrategias. Las combinaciones fueron distanciamiento social con uso de cubrebocas, distanciamiento social con vacunación y uso de cubrebocas con vacunación.

En la Figura 5.2, se muestran las gráficas de los valores de interés para la combinación de distanciamiento social con uso de cubrebocas. En dicha combinación, p-distanciamiento varió de 0 a 100 con saltos de 25 mientras que p-cubrebocas varió de 0 a 100 con saltos de 10.

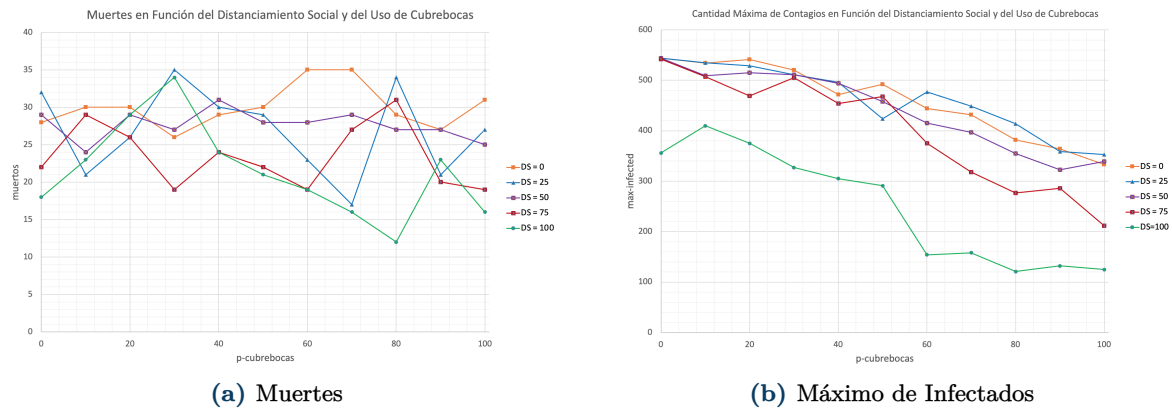


Figure 5.2: Cantidad de muertes y cantidad máxima de personas infectadas para la combinación de distanciamiento social con uso de cubrebocas.

En la gráfica (a), se observa un comportamiento similar al del experimento anterior en el que la cantidad de muertes oscila entre un par de valores pero no se aprecia que tenga tendencia ni a aumentar ni a disminuir. No obstante, se observa que conforme aumenta el distanciamiento social, las curvas se van desplazando hacia abajo, es decir, los valores entre los que oscila la cantidad de muertes van disminuyendo lentamente.

De la gráfica (b), se puede decir que, en general el número máximo de infectados disminuye conforme a lo comprobado en el primer experimento para el uso de cubrebocas. El valor de interés se comporta de manera similar para el rango de valores de p-distanciamiento de 0 a 50. Esas tres curvas tienen aproximadamente el mismo comienzo y el mismo final. Pero a partir del 75 aumenta ligeramente la pendiente de la curva, modificando el valor final. Este cambio se observa mejor con el valor máximo de p-distanciamiento, en el que además el inicio de la curva se desplazó hacia abajo considerablemente, hecho que no sucedía cuando sólo se llevó a cabo una estrategia.

La siguiente combinación fue distanciamiento social con vacunación, en la que p-distanciamiento varió nuevamente de 0 a 100 en saltos de 25, mientras que p-vacuna varió de 0 a 100 en saltos de 10. Las gráficas de los valores de interés para dicha combinación se muestran en la Figura 5.3.

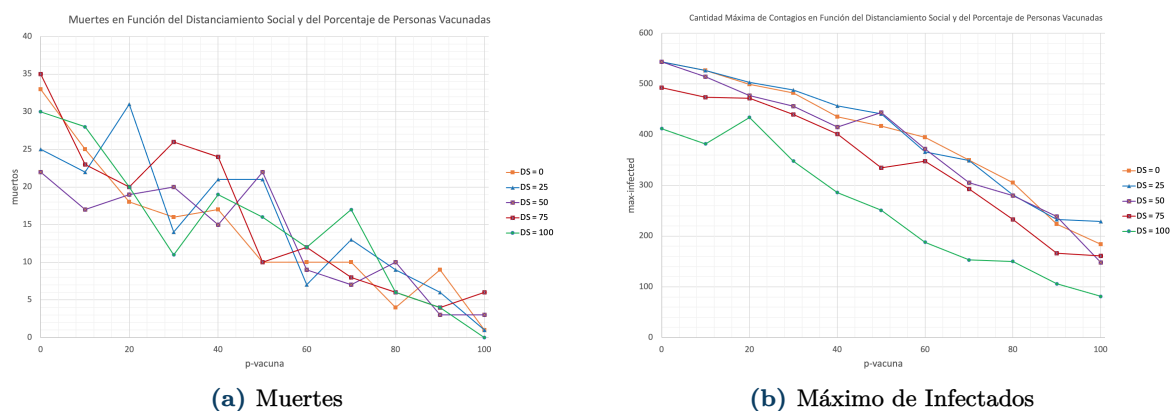


Figure 5.3: Cantidad de muertes y cantidad máxima de personas infectadas para la combinación de distanciamiento social con vacunación.

En ambas gráficas se distingue la relación inversa característica de la vacunación, entre los valores de interés y los parámetros que se variaron. Tanto en la gráfica (a) como en la (b), se observa algo similar a lo presentando en las gráficas equivalentes de la combinación anterior: los valores iniciales y finales de las curvas se desplazan hacia abajo conforme aumenta el parámetro p-distanciamiento, potenciando la disminución en los valores de interés que produce la vacunación por sí sola.

La última combinación que se estudió fue la de uso de cubrebocas y vacunación. En dicha combi-

nación, p -cubrebocas y p -vacuna variaron de 0 a 100 en saltos de 10 cada uno. Las gráficas de los valores de interés se muestran en la Figura 5.4.

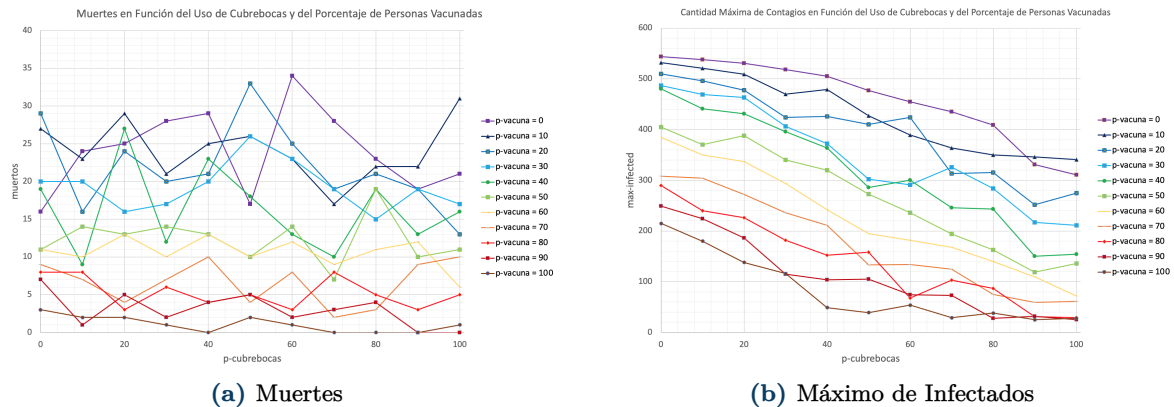


Figure 5.4: Cantidad de muertes y cantidad máxima de personas infectadas para la combinación de uso de cubrebocas con vacunación.

A pesar de que se observó en experimentos anteriores que la vacunación produce que las curvas de muerte tengan una pendiente negativa, en la gráfica (a) se nota que las curvas nuevamente oscilan entre un par de valores cada una. Esto se debe a que la vacunación junto con el uso de cubrebocas provocan que el inicio de las curvas se desplace hacia abajo también, y no solo el final como con la combinación anterior, desplazando las curvas completas hacia abajo conforme aumenta p -vacuna. Cuando ambos parámetros eran altos, las muertes disminuyeron hasta acercarse a 0 en promedio.

En el caso de las curvas para el número máximo de infectados, la gráfica (b) muestra que la pendiente de estas es muy similar, y que, al igual que para las muertes, las curvas se desplazan hacia abajo considerablemente conforme p -vacuna aumenta. Esto se interpreta como que entre mayor es el porcentaje de la población que está vacunada y que usa cubrebocas, el número máximo de infectados tiende a 0 también, disminuyendo en casi dos ordenes de magnitud desde más de 500 hasta alrededor de 20 con los parámetros al máximo.

De manera cualitativa, la pendiente de las curvas de número máximo de infectados es similar para las 3 combinaciones estudiadas, pero lo que marca la diferencia en la eficacia de cada una para mitigar el desarrollo infeccioso de una pandemia es el desplazamiento hacia abajo que presentan. Por ejemplo, en la primera combinación y también en la segunda, la curva con los parámetros máximos empieza alrededor de 400 y termina cerca de 100, pero en la tercer combinación, la curva con parámetros máximos empieza alrededor de 250 y termina cerca de 20.

Por otro lado, en todos los experimentos se observó que cuando p -vacuna era máximo, la cantidad de muertes tendía a 0. Esto significa que, bastaba con incluir vacunación en las estrategias, individualmente o como parte de una combinación, para tener la posibilidad de que las muertes fueran 0 en algún momento, dependiendo del valor de los parámetros. En los experimentos que no se consideró vacunación, la cantidad de muertes jamás llegó a 0, e incluso se mantenía oscilando entre un par de valores fijos.

6 | Conclusiones

No se experimentó con las 3 estrategias al mismo tiempo, primero porque se podía inferir que esa sería la combinación más efectiva y segundo, porque al tener 3 parámetros, el número de corridas en los experimentos aumentaba drásticamente, y en consecuencia, también el número de datos y a su vez, de gráficas. Debido a eso, habría sido muy complicado representar los resultados de los efectos de los 3 parámetros de manera simultánea.

A partir de los resultados de los experimentos realizados, se puede concluir, principalmente que hay varias maneras prácticas de mitigar el desarrollo infeccioso de una pandemia, pero que la más efectiva, tanto para disminuir la cantidad de muertes, como el número máximo de infectados en cada ola es la vacunación. En el caso de la cantidad de muertes, la vacunación es incluso, la única estrategia que la disminuye. Si no se incluye vacunación en las estrategias llevadas a cabo, la cantidad de muertes oscila entre 2 valores fijos sin aumentar ni disminuir.

Respecto al número máximo de infectados, todas las estrategias lo disminuyen, pero a diferente ritmo y con diferente alcance. Individualmente, el distanciamiento social no es tan efectivo como las otras dos estrategias para disminuir ese valor de interés. Sin embargo, en conjunto con otra estrategia, potencia su eficacia. Esto se observa claramente en las gráficas (a) de las dos primeras combinaciones. A pesar de que la vacunación individualmente tiene mejor desempeño que el uso del cubrebocas, al combinar cada una con el distanciamiento social, el desempeño fue muy similar cuando p-distanciamiento era máximo.

En general, un hecho irrefutable que refleja este modelo a través de los experimentos llevados a cabo, es que la única manera de realmente disminuir los efectos de una pandemia sobre una población es la cooperación. No se implementó un parámetro de cooperación, pero en la realidad, el cubrebocas no se pone solo, las vacunas no se aplican solas y el distanciamiento social no ocurre de manera espontánea. En la realidad, esas 3 estrategias no dependen de un slider en una simulación, sino de que la gente las lleve a cabo y atienda las indicaciones.

En los resultados, se observa que todas las estrategias disminuyen los efectos de la pandemia de una u otra forma, y obviamente, los disminuyen más cuando los parámetros que las representan son máximos. En la realidad, el análogo a maximizar los parámetros es que la gente demuestre cooperación y atienda las indicaciones que lleven a reflejar el efecto de la maximización de los parámetros.

7 | Bibliografía

- Manrique-Abril, Fred G. et al. Modelo SIR de la pandemia de COVID-19 en Colombia. Revista de Salud Pública [online]. v. 22, n. 2 [Accedido 4 Diciembre 2023] , pp. 123-131. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rsap.V22n2.85977>. ISSN 0124-0064. <https://doi.org/10.15446/rsap.V22n2.85977>.
- Abelló Ugalde, Isidro Alfredo, Guinovart Díaz, Raúl y Morales Lezca, Wilfredo El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19 en Cuba. Revista Cubana de Salud Pública. v. 46, n. Suppl 1, e2597. Disponible en: [jũ](#). ISSN 1561-3127.
- Maguey, H. (2022) Los cubrebocas y su utilidad según su manufactura. Gaceta UNAM
- Sickbert-Bennett EE , Samet JM , Clapp PW, et al. Eficiencia de filtración de las alternativas de mascarillas hospitalarias disponibles para su uso durante la pandemia de COVID-19. Médico Interno JAMA. 2020;180(12):1607–1612. doi:10.1001/jamainternmed.2020.4221
- Marco JJG, Pasquín MJÁ, Martín SM. Efectividad y seguridad de las vacunas para el SARS-CoV-2 actualmente disponibles. FMC. 2021 Oct;28(8):442-451. Spanish. doi: 10.1016/j.fmc.2021.07.001. Epub 2021 Sep 30. PMID: 34611388; PMCID: PMC8483629.

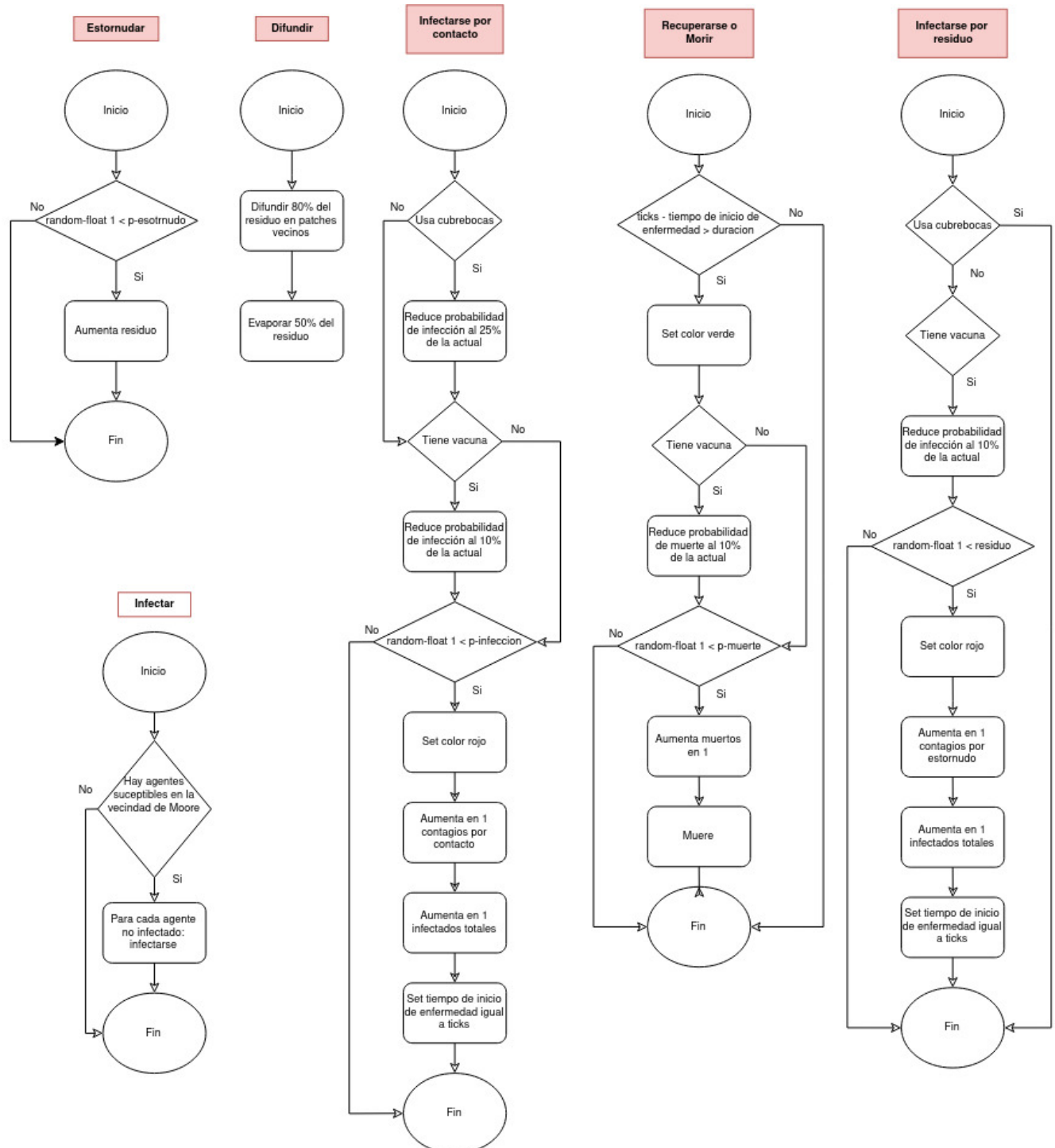


Figure 4.4: Subrutinas