

Sistemas Multiagente: Simulación de propagación de la Covid-19 en la Comunidad Valenciana

Jaime Ferrando Huertas and Javier Martínez Bernia

Universidad Politécnica de Valencia
<http://www.upv.es>

Abstract. Actualmente, estamos en medio de una pandemia provocada por la enfermedad Covid-19. En este artículo se presentan una serie de simulaciones que pretenden estudiar la propagación del coronavirus en la Comunidad Valenciana. Para ello, se hará uso del entorno de simulación NetLogo, un entorno para lanzar simulaciones basadas en agentes. Se detallarán todas las simulaciones lanzadas y se hará un análisis de cómo afectan los parámetros del modelo probado, así como una simulación utilizando valores reales y oficiales para intentar acercarnos a la situación actual.

Keywords: Simulación basada en Agentes · NetLogo · Agentes Inteligentes

1 Introducción

A menudo no es posible realizar pruebas experimentales en la vida real. Hay gran cantidad de experimentos que debido a su naturaleza no somos capaces de crear o que no nos conviene hacerlos. Para estos casos se recurre a la simulación de estos experimentos, normalmente haciendo uso de herramientas informáticas que intentan alcanzar el máximo grado de realismo.

En esta memoria se presenta nuestro experimento de simulación de la propagación de la Covid-19 en la Comunidad Valenciana. La propagación de este virus está afectando muchísimo en nuestra sociedad, tal es así que la forma de vida que teníamos hace poco más de un año se ha visto profundamente cambiada. El número de contagios es muy alto y la tasa de mortalidad es alta. Por tanto, se ha decidido hacer una simulación de la pandemia para probar modelos que se asimilen a como sucedería en la vida real. Para realizar este experimento hemos usado la herramienta NetLogo (9) con un modelo ya creado y que se presenta en (7). Se han realizado las modificaciones necesarias para codificar un nuevo mapa de la Comunidad Valenciana a la vez de añadir ciertas funcionalidades al ejemplo. En las siguientes secciones, se explica con detalle todo el proceso realizado para poder hacer esta simulación, así como los experimentos que se han realizado y sus respectivos resultados.

2 Simulación computacional

Definimos la simulación computacional como el conjunto de herramientas usado para crear una simulación abstracta de un determinado sistema. Estas herramientas suelen ser programas informáticos o redes de ordenadores.

Estas simulaciones forman parte de varios modelos matemáticos para sistemas de gran escala. Ya sea de origen natural como sistemas de predicción meteorológica o origen humano como modelos económicos.

Estas simulaciones suelen pertenecer a una de estos tres grupos:

- Simulación basada en eventos discretos: Intentar crear modelos de simulación en un tiempo continuo, donde los cambios en el sistema son accionados por eventos.
- Simulación de sistemas basados en agentes: Simulan el comportamiento individual de agentes e interacciones entre ellos.
- Simulación de sistemas dinámicos: Se basan en modelos que describen el comportamiento y dinámica de cada entidad a modelar.

En nuestro caso vamos a trabajar con un entorno de simulación basado en agentes. Hemos usado NetLogo para simular con un modelo basado en agentes el comportamiento humano en la sociedad y cómo un virus como el coronavirus se propaga en la sociedad.

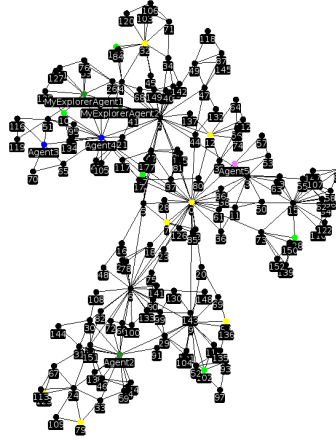


Fig. 1: Ejemplo de representación multi agente

3 Modelo de simulación de la propagación de la Covid-19

En esta sección se presenta el modelo de simulación que se va a explorar. En primer lugar se habla del entorno con el que se van a llevar a cabo las simulaciones

y más adelante se detallan los aspectos principales así como los aspectos más técnicos del modelo.

3.1 Introducción a NetLogo

NetLogo es un entorno programable de simulación fenómenos de aspecto natural o social. Nos permite crear simulaciones que evolucionan en el tiempo con multitud de agentes que interactúan entre si. Ofrece herramientas para crear y monitorizar interacciones entre agentes tanto a nivel individual como poblacional. NetLogo se presenta como una herramienta potente y sencilla de usar para realizar simulaciones a gran escala como la que presentamos en esta memoria.

3.2 Modelo de simulación

Ahora entramos más en detalle sobre cómo funciona el modelo con el que vamos a experimentar en el entorno de simulación. El modelo en cuestión tiene como nombre *Covid 19 Contagion Dynamics* (8) y se encuentra publicado en la web *Modeling Commons*¹. El modelo tiene como objetivo visualizar las dinámicas emergentes de la interacción y la influencia de un pequeño subconjunto de múltiples factores biológicos y sociales para conseguir una aproximación del desarrollo de la pandemia Covid-19. El código fuente se puede encontrar en la web, el cual se ha descargado y se ha modificado en algunos aspectos para utilizarlo en nuestro caso de uso. En los siguientes subapartados comentamos las utilidades que incorpora el modelo.

Población Para modelar la población se utilizan agentes, los cuales se han dividido en distintos grupos según el rango de edad al que pertenecen. Se ha hecho una división de edades de 10 años para crear los distintos grupos. A cada grupo, se le han definido unos parámetros:

- Población inicial por grupos de edad
- Probabilidad de infección por grupos de edad
- Probabilidad de muerte por grupos de edad
- Número de personas que se desplazan por día
- Porcentaje de personas que se desplazan infectadas

Con esto se ha querido buscar una representación lo más realista posible sobre la sociedad. Por ejemplo, se ha modelado que los grupos mas jóvenes tengan mayor número de desplazamientos que los mayores y que los mayores tengan más riesgo de muerte.

¹ http://modelingcommons.org/browse/one_model/6250#model_tabs_browse_info

Parámetros de entorno Para realizar la simulación también se han definido multitud de parámetros de entorno que sirven para controlar cómo evolucionan las interacciones entre agentes.

– **Parámetros clínicos**

- Capacidad de atención médica (número de camas disponibles)
- Población infectada inicial
- Duración promedio de infección
- Tiempo promedio hasta que los síntomas se muestran
- Promedio de días para que sea posible el contagio
- Distancia máxima para que sea posible el contagio
- Posibilidad de tener una infección severa
- Factor multiplicador para la posibilidad de muerte en caso de una infección grave.
- La probabilidad de supervivencia durante el tratamiento aumenta en un 50
- Los pacientes en tratamiento están aislados y no son contagiosos
- La infección no se puede contraer dos veces

– **Parámetros de interacción social**

- Número de escuelas
- Número de universidades
- Número de sitios de hospitalidad
- Número de lugares de reunión para personas de 18 años de edad en adelante
- Número de lugares de reunión para personas de 60 años en adelante
- Número de líneas de transporte público
- Número de comercios alimenticios
- Número de visitantes a la ciudad por día
- Porcentaje de visitantes a la ciudad infectados
- Distancia real representada en metros para cada patch en NetLogo

– **Parámetros de respuesta institucionales**

- Cuarentena completa o parcial: la primera opción, restringe todas las interacciones sociales, incluyendo el uso del transporte público y los ingresos de visitantes externos a la ciudad. La segunda opción, cierra todas las actividades públicas y privadas pero no restringe la posibilidad de las personas de salir fuera de casa.
- Distanciamiento social: indica a las personas mantener una distancia mínima establecida expresada en metros. El orden no se sigue con precisión, sino de forma más aleatoria y proporcional a la distancia establecida. Esta variable solo se tiene en cuenta cuando el bloqueo completo se establece en Desactivado.
- Priorizar adultos mayores: Cuando se activa, la simulación prioriza el acceso del paciente anciano (mayor de 60 años) a las camas de hospital.

Como podemos ver, existen un gran número de parámetros para ajustar el modelo. En futuras secciones veremos que algunos de ellos se han modificado para generar distintas situaciones, como por ejemplo, una situación extrema o una situación sin distanciamiento social. Principalmente se harán modificaciones sobre los parámetros de respuesta institucionales, que tienen que ver con aplicación de restricciones por parte de las instituciones, con lo que se analizará la capacidad de estas para frenar la expansión del virus. De los demás parámetros se modificarán algunos para ajustar el modelo a las dimensiones de la zona con la que estamos simulando, en este caso la Comunidad Valenciana.

3.3 Implementación de la simulación

La simulación muestra un mapa en medio donde se puede observar la evolución del experimento. En el mapa aparecen en verde los agentes sanos y en puntos rojos los agentes infectados. Cada paso de ejecución corresponde a una hora. En cada paso, los agentes actúan siguiendo el siguiente esquema:

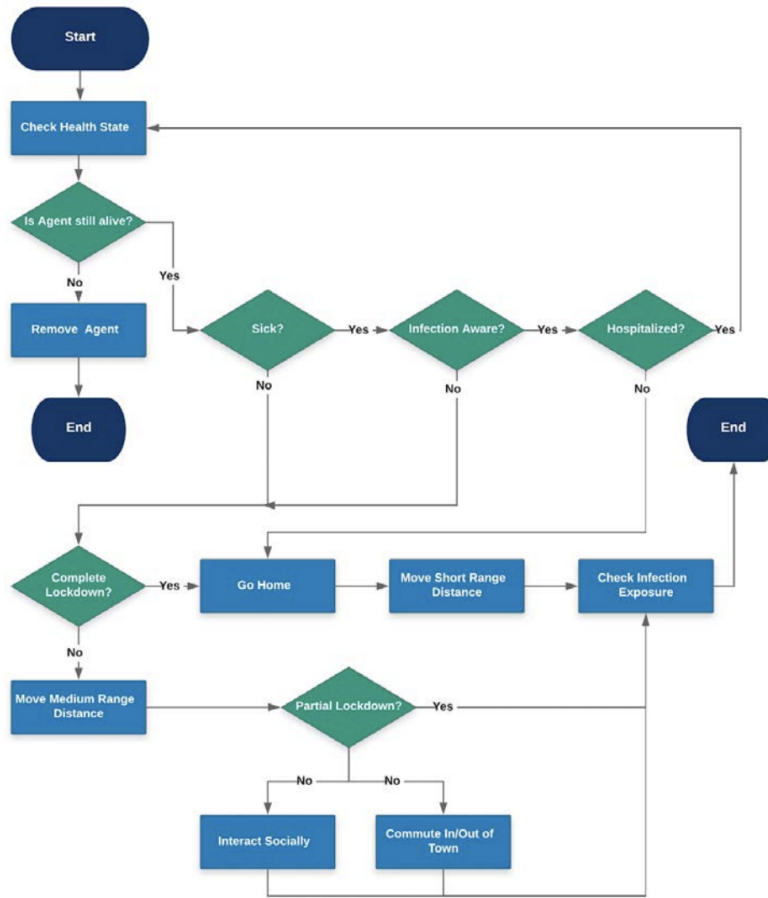


Fig. 2: Plan de ejecucion de agente (7)

El agente siempre empieza el ciclo evaluando su estado de salud, las acciones del agente dependerán totalmente del estado en el que se encuentre. Si está muerto se mata al agente, sino se mira si está infectado. En caso de no estar infectado o estar infectado pero no ser consciente de ello el agente realiza una acción en función del estado de cuarentena en el entorno. Si no hay cuarentena total ni parcial el agente se relacionará con otros agentes y se moverá de casillas, si hay cuarentena parcial se restringirá parcialmente el movimiento e interacción social y si es cuarentena total el agente se ira a casa sin salir. En caso de estar infectado y ser consciente de ello el agente se irá a casa o se quedará en el hospital.

Inicialización de los agentes Por defecto, en el modelo que se ha descargado, los agentes aparecían aleatoriamente por todo el mapa. Para este trabajo se ha hecho una modificación al código para que los agentes aparecieran en las tres capitales de provincia con más probabilidad, simulando la demografía real. Se ha puesto el porcentaje de población de cada capital de provincia según los datos de (2) y el resto de la población se ha inicializado en casillas aleatorias.

Transmisión de la enfermedad Se empieza con una cantidad inicial de agentes contagiados por Covid-19, los cuales son seleccionados aleatoriamente entre todos los agentes existentes. Tras esto la transmisión de la enfermedad se modela siguiendo el siguiente esquema:

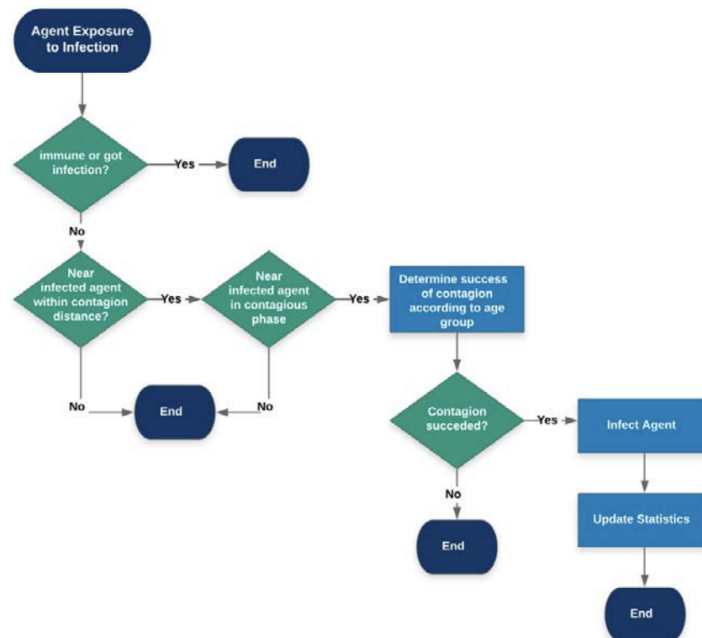


Fig. 3: Plan de contagio de Covid-19 (7)

En cada ciclo evaluamos si un agente esta en rango de posible infección. Dependiendo de si es inmune al virus o no se empieza el proceso de infección, para ello necesita estar en rango de propagación de virus de un agente infectado (sino se cancela la infección) y se crea un valor aleatorio que junto al parámetro de probabilidad de infección definido decide si el agente es infectado.

Interacción social El esquema para simular la interacción social de cada agente tiene en cuenta el grupo de edad al que pertenezca el agente. Los lugares de

reunión definidos en el mapa funcionan como puntos de encuentro (clusters) en donde los agentes se reúnen con una determinada frecuencia. El esquema a seguir es el siguiente:

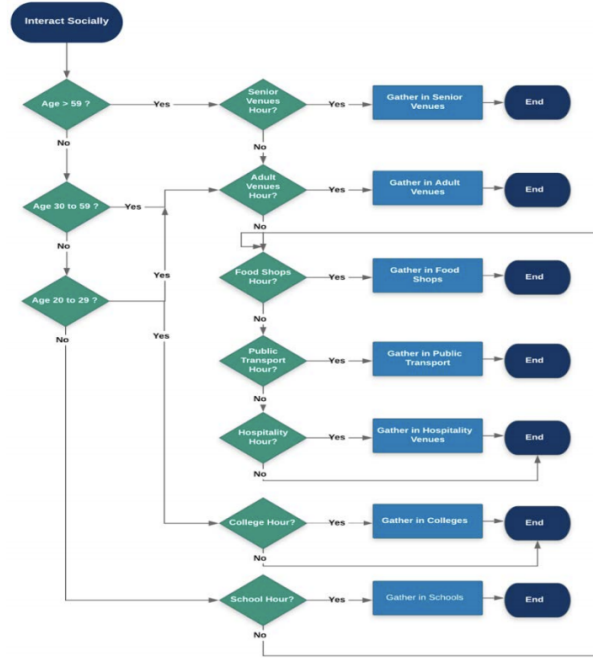


Fig. 4: Plan de interacción social (7)

Dependiendo del grupo de edad al que pertenece el agente este seguirá una actividad social acorde a este. Estas actividades van en función de la hora del día y llevan al agente a un punto de encuentro donde se podría dar lugar a infecciones siguiendo el esquema definido anteriormente.

Área geográfica de la simulación El modelo que se ha descargado para las pruebas incorporaba un mapa de Argentina. Para este proyecto, hemos creado un mapa personalizado para la Comunidad Valenciana. Para crear este mapa nos hemos basado en un mapa oficial de densidad poblacional de la Comunidad Valenciana y un mapa de carreteras. Hemos modelado los focos donde más población convive y estos están conectados con carreteras.

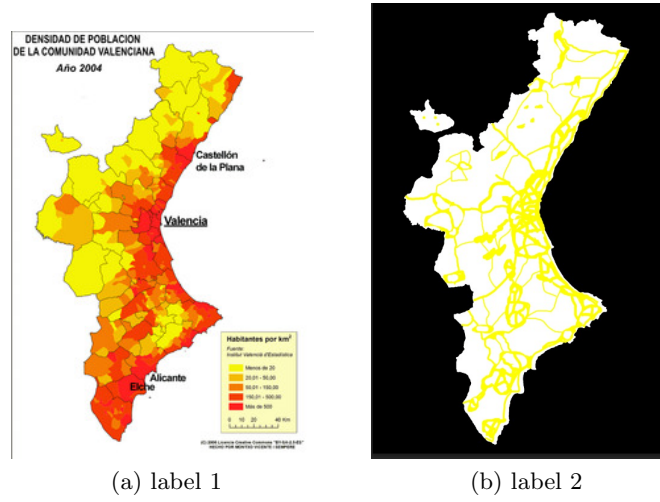


Fig. 5: Mapa crudo y nuestra versión usada en la simulación

En la figura 5 podemos encontrar el mapa de densidad poblacional (izquierda) junto al mapa creado para nuestros experimentos. Este mapa consiste de un área blanca delimitada por un fondo negro. Los agentes pueden estar en cualquier celda del mapa, ya sea blanca o amarilla. Las celdas blancas son celdas normales y las amarillas simulan zonas donde los agentes interactúan más, por lo que podemos ver que las zonas más pobladas están en amarillo. Las carreteras principales también se han pintado en amarillo.

Seguimiento de la evolución de la simulación En nuestro entorno de Net-Logo contamos con multitud de herramientas para monitorizar y ajustar los parámetros del modelo. La principal herramienta de visualización es el mapa, este se encuentra en el centro de la consola y cuenta con una representación a tiempo real de los agentes y en que estado se encuentran (cada estado representado por distintos colores). A la parte izquierda superior de la consola encontramos el conjunto de parámetros poblacionales junto a la posibilidad de ajustarlos. En la parte superior derecha se encuentran los parámetros clínicos y de interacción social. En la inferior derecha encontramos los ajustes de parámetros de respuesta social. Por último, en la parte inferior izquierda cuenta con gráficas para número de infectados, recuperados y muertos para todos los grupos de edades. Estas gráficas se actualizan a tiempo real y nos permiten evaluar como progresa el experimento.

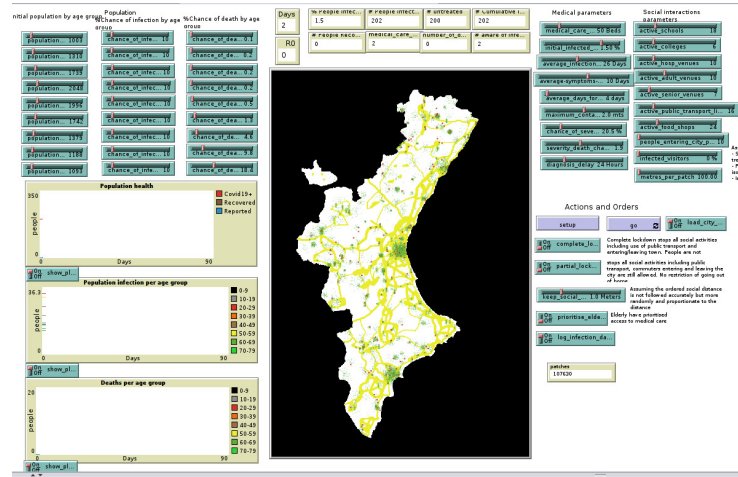


Fig. 6: Consola de nuestra simulación

Ajuste del modelo al mapa de la Comunidad Valenciana Hemos ajustado los parámetros poblacionales y de interacción social para crear un reflejo a baja escala de la Comunidad Valenciana. Esto se ha hecho ya que hacer una simulación con tantos agentes como personas tiene un enorme coste computacional.

Para la población de agentes hemos usado datos oficiales de la Comunidad valenciana. El número de agentes y su reparto en el mapa son conforme a esta escala de datos oficiales, la cual citamos más adelante. Los parámetros de interacción social como número de escuelas, camas o hospitales también han sido ajustados según datos oficiales.

Métricas Para analizar la simulación se han utilizado distintas métricas. Estas se pueden dividir en tres grupos principales

- Salud poblacional
 - Número de agentes infectados
 - Número de agentes muertos
 - Número de agentes recuperados
- Infecciones por grupos de edad
 - Número de agentes infectados con edad 0-9
 - Número de agentes infectados con edad 10-19
 - Número de agentes infectados con edad 20-29
 - Número de agentes infectados con edad 30-39
 - Número de agentes infectados con edad 40-49
 - Número de agentes infectados con edad 50-59
 - Número de agentes infectados con edad 60-69

- Número de agentes infectados con edad 70-79
 - Número de agentes infectados con edad ≥ 80
- Muertes por grupos de edad
- Número de agentes muertos con edad 0-9
 - Número de agentes muertos con edad 10-19
 - Número de agentes muertos con edad 20-29
 - Número de agentes muertos con edad 30-39
 - Número de agentes muertos con edad 40-49
 - Número de agentes muertos con edad 50-59
 - Número de agentes muertos con edad 60-69
 - Número de agentes muertos con edad 70-79
 - Número de agentes muertos con edad ≥ 80

Con este conjunto de métricas somos capaces de observar cómo evoluciona la pandemia en nuestra población.

4 Experimentación

En esta sección se presentan los experimentos que se han realizado con el modelo que se ha descrito en las secciones anteriores. Se detallarán tres experimentos principales. Cada uno de ellos ha sido ejecutado varias veces para comprobar que el comportamiento fuera estable. Los dos primeros experimentos se han realizado para probar el funcionamiento del modelo y poder ajustarlo a nuestras simulaciones. Finalmente, se ha configurado la simulación intentando ajustar los parámetros del modelo para generar una situación realista a escala.

4.1 Modelo sin distancia social *versus* con distancia social

El primer experimento simula dos situaciones. Una sin aplicar distanciamiento social entre los agentes y otra con distanciamiento. Esto pretende analizar la propagación del virus cuando se toman estas medidas y cuando no. Respecto a los parámetros de entorno, se han dejado todos por defecto excepto uno. Este parámetro que se ha modificado es la distancia real en metros para cada celda de NetLogo. Se ha decidido poner un valor de 100 tras experimentar varias veces con distintos valores, aunque este valor no es realista con respecto al área del mapa de la Comunidad Valenciana, lo cual no es objetivo simular en este primer caso.

Se ha lanzado la simulación empezando con 96 agentes infectados de un total de 13490, y se han sacado ciertos valores en diferentes instantes de tiempo. En la siguiente tabla se pueden ver estos valores.

Días	% Infectados	Infectados	Reportados	Curados	Muertos
0	0.71	96	0	0	0
14	1.46	197	79	1	3
28	2.33	314	236	56	8
35	2.38	321	326	151	10
60	4.19	564	760	450	19

Table 1: Valores de la simulación del caso sin distancia social.

Como podemos observar, tras dos semanas el número de infectados es casi el doble que en el momento inicial. Hasta ese instante se han reportado 79 casos, solo un individuo se ha recuperado y han muerto tres agentes. En los siguientes instantes de tiempo vemos una tendencia a aumentar el porcentaje de infectados en la población. Podemos observar, tras un total de 60 días, que el porcentaje de infectados activos ha subido de un 0.71% a un 4.19%. En ese instante, hay un total de 450 casos reportados hasta el momento y un total de 19 muertos.

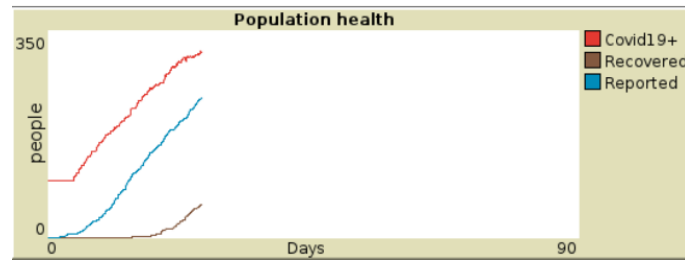
A continuación, se ha lanzado un experimento activando el distanciamiento social entre los agentes de 1.5 metros. Se han reportado valores al cabo de 28 y de 60 días. En la siguiente tabla se muestran estos valores.

Días	% Infectados	Infectados	Reportados	Curados	Muertos
0	0.71	96	0	0	0
28	1.17	157	179	70	4
60	0.28	38	275	244	6

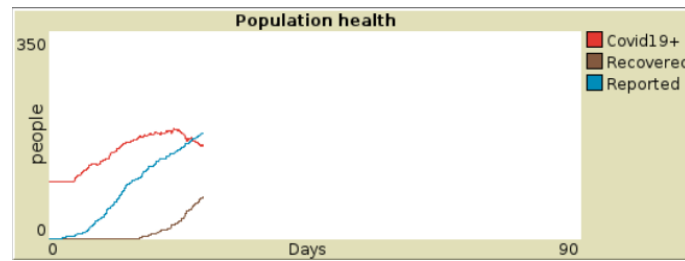
Table 2: Valores de la simulación del caso con distanciamiento social.

En este caso, se puede ver que a los 28 días el número de casos activos es mayor que el inicial, pero a los 60 días el porcentaje de casos activos es menor al inicial, por lo que esta medida ha tenido efectos notables. En comparación con la simulación sin distanciamiento, tras 60 días se ha reducido el número de muertes de 19 a 6.

Para ver mejor esta comparación entre las dos simulaciones, a continuación se muestran distintas gráficas que describen la evolución de las simulaciones en ambos casos.



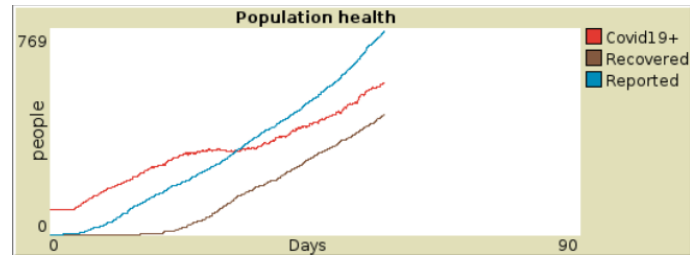
(a) Sin distanciamiento social



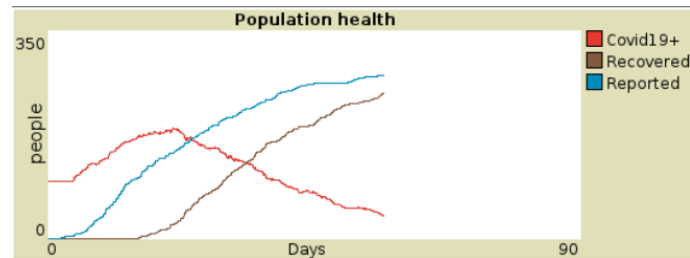
(b) Con distanciamiento social

Fig. 7: Evolución de las simulaciones con y sin distanciamiento social tras 28 días.

Como podemos ver en la figura anterior, tras 28 días se observa una diferencia entre ambas simulaciones. En la simulación que no aplica distanciamiento social los casos activos infectados (rojo) tienden a subir bastante rápido, mientras que en la otra simulación ya se puede ver que se ha llegado al pico de casos activos y ya se está empezando a bajar el número de activos. A continuación, mostramos las mismas gráficas tras 60 días.



(a) Sin distanciamiento social



(b) Con distanciamiento social

Fig. 8: Evolución de las simulaciones con y sin distanciamiento social tras 60 días.

En este caso, tras 60 días el modelo sin distanciamiento sigue aumentando el número de casos activos de infectados, mientras que en el modelo con distanciamiento entre los agentes se puede ver que el número de casos activos ha disminuido bastante, hasta llegar a valores por debajo del inicial, como habíamos visto en las tablas.

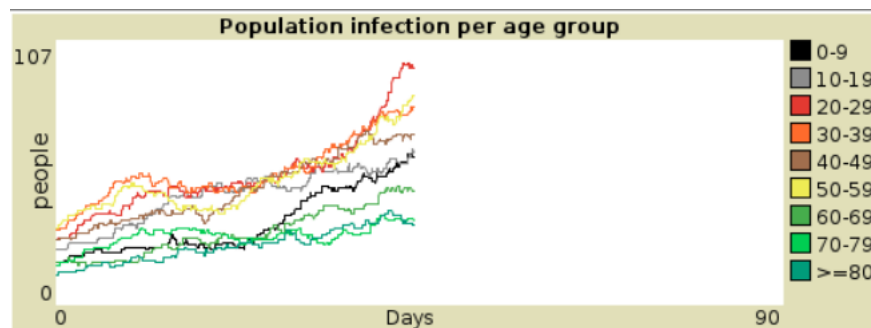


Fig. 9: Número de infectados por grupo de edad.

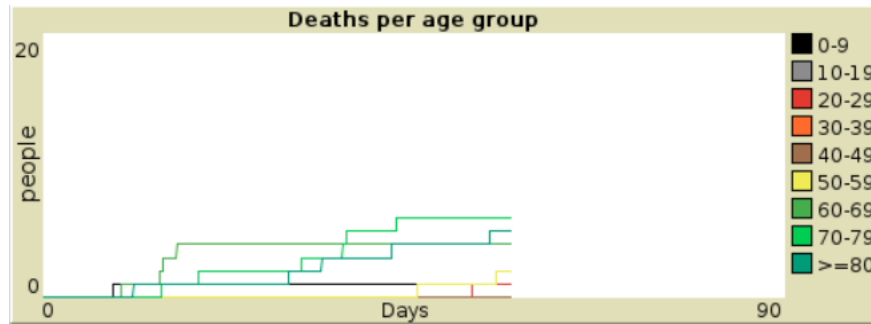


Fig. 10: Número de muertos por grupo de edad.

En la figura 9 podemos ver cómo evolucionan las infecciones según el grupo de edad al que pertenecen los agentes. Se puede observar que los grupos con más infecciones son los de 20 a 29 y de 30 a 39 años. En la figura 10 se puede ver el número de muertos por grupo de edad. Se observa que los grupos con más muertes son los que van de los 60 años de edad para arriba. Estas dos gráficas pertenecen a la simulación sin distancia social.

Este experimento nos ha hecho ver que el distanciamiento social es un factor que afecta bastante a la propagación del virus, por lo que es un parámetro muy a tener en cuenta en las próximas simulaciones.

4.2 Modelo con confinamiento parcial y completo

Tras experimentar con el parámetro del distanciamiento social, se ha decidido probar con más parámetros. En este segundo experimento se realizarán diversas simulaciones para analizar el comportamiento de la propagación vírica aplicando restricciones de movilidad. Estas serán aplicadas gracias a los parámetros de cuarentena completa o cuarentena parcial. Se intentará crear una situación extrema y aplicar ambas restricciones para ver cómo afectan al proceso.

Para simular la situación comentada se ha lanzado un experimento con un 1.5% de población inicial infectada. Como hemos visto que el factor de distancia social afecta bastante a la simulación se ha quitado la distancia social, para poder observar realmente cómo afectan el confinamiento parcial y total. Además, se ha duplicado la probabilidad de infección para conseguir una situación extrema. Se han lanzado dos simulaciones, una aplicando un confinamiento parcial y otra aplicando un confinamiento completo. En las siguientes tablas y figuras podemos ver los datos reportados de ambas simulaciones.

Días	% Infectados	Infectados	Reportados	Curados	Muertos
0	1.5	202	0	0	0
28	5.63	742	543	115	20
60	5.59	718	1525	1019	49

Table 3: Valores de la simulación aplicando un confinamiento parcial a partir del día 28.

En la tabla anterior se muestran los datos reportados en la simulación que aplica un confinamiento parcial. Como se puede ver, cuando la simulación va por el día 28 el porcentaje de infectados es mucho mayor que el inicial y el número de infectados crece de 202 a 742. En este punto, se ha aplicado un confinamiento parcial, el cual restringe todas las actividades sociales, incluido el transporte público.



(a) Pre confinamiento parcial



(b) Con confinamiento parcial

Fig. 11: Evolución de las simulaciones con confinamiento parcial

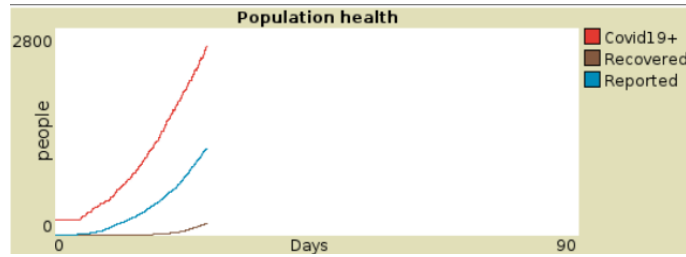
Podemos ver que la el confinamiento parcial es bastante efectivo en rebajar la pendiente de velocidad de infecciones nuevas, llegando a pendiente negativa (número de casos disminuye) en los 60 días mientras que el confinamiento nulo no lo conseguía.

En la siguiente tabla podemos ver los datos de la simulación que aplica un confinamiento completo a partir del día 28 de la simulación.

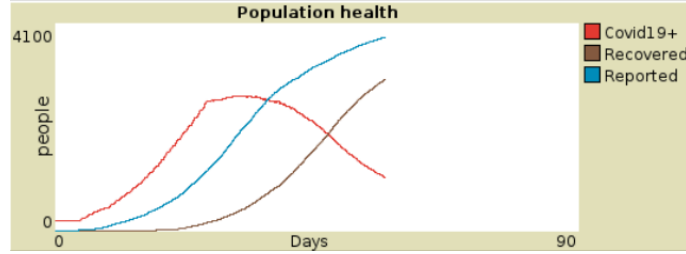
Días	% Infectados	Infectados	Reportados	Curados	Muertos
0	1.5	202	0	0	0
28	19.47	2563	1176	157	42
60	8.14	1064	3831	2991	130

Table 4: Valores de la simulación aplicando un confinamiento completo a partir del día 28.

En la tabla anterior se muestran los datos reportados en la simulación que aplica un confinamiento completo. Como se puede ver, cuando la simulación va por el día 28 el porcentaje de infectados es aún mucho mayor que el de la simulación con confinamiento parcial y el número de infectados crece de 742 a 2563 en comparación. En este punto, se ha aplicado un confinamiento completo, el cual limita todos los agentes a quedarse en casa. La diferencia entre casos a día 28 se debe a aspectos aleatorios de la simulación y para el análisis nos centramos en la evolución del modelo tras aplicar confinamiento completo.



(a) Pre confinamiento total



(b) Con confinamiento total

Fig. 12: Evolución de las simulaciones con confinamiento total

En las gráficas observamos una bajada drástica de número de infecciones a partir del día 28. Esta bajada es más pronunciada que en el experimento con confinamiento parcial y muestra la mayor efectividad del confinamiento total

aun partiendo de peores datos de infecciones en el día 28.

El confinamiento total se presenta entonces como mejor opción al parcial pero también conlleva una restricción de libertades para los agentes más elevada.

4.3 Modelo con datos oficiales

Finalmente, se ha decidido realizar un experimento utilizando datos reales y acercarnos lo más posible a una situación real. Para ello, se ha realizado una búsqueda de datos oficiales y se han adaptado proporcionalmente al modelo. En la siguiente tabla podemos ver los valores oficiales que se han encontrado.

Nombre	Valor	Fuente
Población C.V.	5029341	(2)
Centros no universitarios	3696	(6)
Centros Universitarios	255	(5)
Hospitales	63	(4)
Camas	13985	(4)
Líneas Transporte Púb.	172	(1)
Casos confirmados PCR+ últimos 14 días	38871	(3)

Table 5: Datos oficiales extraídos para el experimento.

A partir de los datos que se muestran en la tabla anterior se han ajustado los parámetros del modelo para acercarse lo máximo posible a una representación lo más parecida a los datos originales. En cuanto al número de agentes, se ha experimentado con 50293 agentes, lo que resulta de dividir la población total entre 100. Los demás parámetros se han ajustado también siguiendo esa proporción. Se ha activado la opción de confinamiento parcial y se ha fijado una distancia social de 1.5 metros. Además, los hospitales priorizarán a las personas mayores. En la siguiente tabla se muestran los valores extraídos de la simulación al cabo de ciertos días.

Días	% Infectados	Infectados	Reportados	Curados	Muertos
0	0.77	387	0	0	0
7	3.49	1752	73	0	0
14	5.3	2655	758	1	12
28	7.86	3919	3070	543	115
60	5.33	2633	6724	4956	272

Table 6: Valores de la simulación con datos realistas.

Como podemos ver en la tabla, la simulación empieza con un 0.77% de infectados. A los 7 días podemos ver que se pasa de 387 infectados a 1752. A los 14 días se puede ver que continúa ese crecimiento extremadamente alto en el número de contagios. Además, el número de muertes sube a 12. Tras 14 días más, el número de contagiados sigue aumentando, hasta llegar a un 7.86% de infectados y el número de muertes crece hasta las 115. En este momento se ha decidido aumentar la distancia social de 1.5 metros a 2 y simular la construcción de un hospital preparado para la pandemia, con lo que ha aumentado el número de camas disponibles. Tras 32 días más, en el día 60 de la simulación se consigue bajar el porcentaje de infectados a 5.33%. En este momento finaliza la simulación con un total de 6724 casos positivos registrados y un total de 272 muertes.



Fig. 13: Evolución de la simulación con datos realistas.

En la gráfica anterior se puede observar la evolución de casos en la simulación. En rojo podemos ver los casos infectados activos, los cuales tienen un crecimiento muy acusado en los primeros días. Cuando llegamos al día 28 estamos en el pico de casos activos, donde se deciden tomar medidas más estrictas para intentar bajar la curva. Como se ha comentado, en este momento se ha aumentado la distancia social (parámetro que afecta bastante al modelo) y se ha simulado la creación de un hospital de campaña como el que se ha creado en Valencia, por lo que se ha aumentado el número de camas. Con estos cambios se puede observar que el número de casos activos empieza a disminuir.

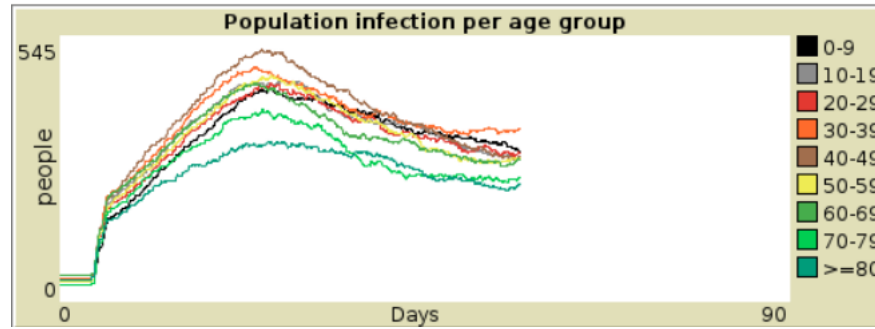


Fig. 14: Número de infectados por grupo de edad.

Respecto al número de infectados por grupo, se puede observar en la figura 14 que el grupo de edad más afectado es el de entre 40 y 49 años, seguido del de 30 a 39. La diferencia entre los grupos no es demasiado alta aunque el grupo de más de 80 años se ha visto menos afectado. Esto es normal debido a que la gente mayor no se mueve tanto.

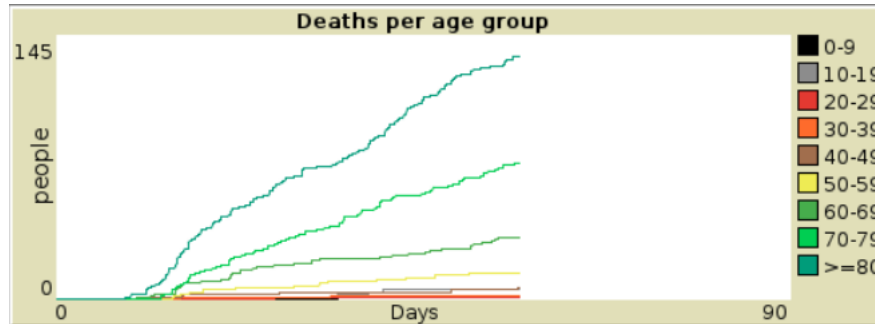


Fig. 15: Número de muertes por grupo de edad.

Respecto a las muertes por grupo, los más afectados han sido sin duda los grupos de edades mayores. La mortalidad del grupo de mayores de 80 es bastante elevada respecto al resto, como se puede observar en la siguiente figura.

Finalmente, en este experimento se ha intentado hacer una simulación lo más cercana a la realidad. Se ha visto que en la simulación la mayoría de agentes se quedaban en las capitales de las provincias, en las cuales se había puesto una proporción de ellos. Según esta simulación, dentro de un mes y medio deberíamos tener unos 263300 casos activos, un número de muertes de 272 y un número de casos totales de 6724 respecto a los datos de los últimos 14 días. Estos datos, como se ha visto, son orientativos y no tienen peso real, ya que es muy difícil

ajustar los parámetros del modelo para hacerlo realista. El objetivo de este experimento era simplemente simular una situación con datos proporcionales a los reales.

5 Conclusiones

En primer lugar, en este proyecto se ha realizado una experimentación con el entorno de simulación NetLogo a partir de un modelo público de simulación de la propagación del coronavirus. Se ha hecho un estudio del modelo para conocer los parámetros que incorporaba y se han realizado distintas simulaciones, con el objetivo de probar el modelo y analizar cómo afectan sus parámetros a la propagación vírica.

Se han estudiado tres experimentos distintos. En el primero, hemos visto que el factor de distancia social es un factor que afecta bastante al comportamiento de las infecciones en el modelo. En el segundo, se ha estudiado cómo afectan las restricciones de confinamiento a la propagación del virus. Se ha visto que el confinamiento parcial consigue frenar el aumento de contagios activos y que el confinamiento total hace posible bajar el número de activos. Finalmente, se ha realizado un experimento intentando simular a escala una situación realista. Para ello, se han buscado todos los datos oficiales posibles y se han ajustado los parámetros del modelo a esos datos.

Hemos encontrado que el entorno de simulación es capaz de realizar un experimento cercano a lo que ha pasado en la vida real. Si bien los números no son a misma escala los experimentos realizados nos han permitido comprobar la velocidad de propagación de contagios y cómo un confinamiento puede ayudar a reducirlos. Los resultados observables en estos experimentos muestran potencial de acercarse a la evolución de la pandemia en nuestro mundo. En todo caso, estos experimentos son orientativos y actualmente no tienen peso real. Pensamos que con más trabajo e implementación de interacciones sociales más complejas podríamos acercarnos aun más a situaciones reales.

Este trabajo ha sido bastante instructivo y nos ha servido como primer contacto con un entorno de simulación de mayor escala que el hecho en prácticas. Haber encontrado el trabajo hecho para Argentina por (7) ha sido de gran ayuda, hemos aprendido mucho sobre el uso de NetLogo a medida que modificábamos el modelo para adaptarlo a nuestro caso de uso. En este entorno hemos visto interacciones entre agentes mucho más complicadas que las vistas previamente en clase.

Bibliography

- [1] Anexo:transporte público en la comunidad valenciana. https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Transporte\p\%C3%BAblico_en_la_Comunidad_Valenciana, visitado: 2021-02-15
- [2] Comunidad Valenciana 2021 datosmacro.com . <https://datosmacro.expansion.com/ccaa/valencia>, visitado: 2021-02-15
- [3] Covid-19 casos confirmats per pcr+, casos pcr+ ... <https://dadesobertes.gva.es/va/dataset/covid-19-casos-confirmats-pcr-casos-pcr-en-els-ultims-14-dies-i-persones-mortes-per-munresource/59bd1074-f4ee-4cb9-9cc1-e9b4ff67d4cc>, visitado: 2021-02-15
- [4] Hospitales en la comunidad valenciana - diputación de alicante. http://documentacion.diputacionalicante.es/pr_hospital.asp, visitado: 2021-02-15
- [5] Registro de universidades, centros y títulos (ruct). https://www.educacion.gob.es/ruct/listacentros?codigoCentro=&prop_ads=&textoCodigoCentro=&cccaa=16&d-443487-p=1&actual=centros&consulta=1&descripcionCentro=&codigoUniversidad=&action:listacentros=Consultar, visitado: 2021-02-15
- [6] Registro estatal de centros docentes no universitarios (rcd). <https://www.educacion.gob.es/centros/home.do>, visitado: 2021-02-15
- [7] Jiménez Romero, C., Tisnés, A., Linares, S.: Modelo de simulación del covid-19 basado en agentes: Aplicación al caso argentino (2020)
- [8] Jimenez Romero, C., Tisnes, A., Linares, S.: Modelo de simulación del covid-19 basado en agentes. aplicación al caso argentino **3**, 1–22 (06 2020)
- [9] Wilensky, U.: Netlogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL (1999), <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>