



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 19 de mayo del 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva, Huila

El (Los) suscrito(s):

Cesar Stivens Duran Cespedes, con C.C. No. 1075314754,

David Leonardo Ñañez Moreno, con C.C. No. 1075311012,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado: Simulación Basada en Agentes de Diferentes Escenarios de la Evolución y Dispersión del virus COVID-19 en el Municipio de Algeciras.

Presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de: Magister en Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Stevens Duran Caspedes

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: [Firma manuscrita]

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ñañez Moreno	David Leonardo
Duran Céspedes	Cesar Stivens

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Montealegre Cárdenas	Mauro

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ovalle	Manuel Fernando

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad

FACULTAD: Ciencias Exactas

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en Estudios Interdisciplinarios de la Complejidad

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 83

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_x__ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_x__ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_x__ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_x_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: NetLogo



MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Modelo	Model	6. Pandemia	Pandemic
2. Agentes	Agents	7. Parámetros	Parameters
3. Simulación	Simulation	8. Comportamiento	Behavior
4. Escenario	Setting	9. Emergencia	Emergency
5. COVID-19	COVID-19	10. Predicción	Prediction

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El modelo presentado es una adaptación que fue codificada de una simulación de múltiples agentes que visualiza la dinámica emergente de la interacción e influencia de un subconjunto de factores biológicos y sociales en el desarrollo de la pandemia COVID-19 en el último trimestre del año 2020. El modelo se implementa en NetLogo (lenguaje de programación y entorno de simulación adaptado para simular fenómenos en donde intervienen múltiples agentes interactuando). El objetivo es simular mediante un enfoque didáctico, diferentes escenarios según los decretos expedidos durante el tiempo de estudio ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus. Se analizaron tres escenarios de evolución del COVID19 en el municipio de Algeciras-Huila, con diferentes niveles de restricción en la movilidad de la población. Expresados en cantidad de días con cuarentena parcial, fueron: E1 28 días, E2 10 días y E3 0 días, durante una simulación de 92 días corridos. El modelo permitió operacionalizar la manera en que distintas variables interactúan entre sí. Esto posibilita simular en un contexto multidimensional el efecto no lineal de variables explicativas sobre la evolución del COVID-19. El aislamiento social es, en todos los casos, la medida que más incide en el comportamiento de la difusión del virus, por lo tanto, la que más ayuda a la prevención y la ralentización del contagio.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The presented model is an adaptation that was coded from a multi-agent simulation that visualizes the emerging dynamics of the interaction and influence of a subset of biological and social factors in the development of the COVID-19 pandemic in the last quarter of the year 2020. The model is implemented in NetLogo (programming language and simulation environment adapted to simulate phenomena involving multiple interacting agents). The objective is to simulate, through a didactic approach, different scenarios according to the decrees issued during the study time, adjusting demographic, medical, social and institutional parameters associated with the evolution and dispersion of the virus. Three scenarios for the evolution of COVID19 in the municipality of Algeciras-Huila were analyzed, with different levels of restriction on the mobility of the population. Expressed in number of days with partial quarantine, they were: E1 28 days, E2 10 days and E3 0 days, during a simulation of 92 consecutive days. The model made it possible to operationalize the way in which different variables interact with each other. This allows the non-linear effect of explanatory variables on the evolution of COVID-19 to be simulated in a multidimensional context. Social isolation is, in all cases, the measure that most affects the behavior of the spread of the virus, therefore, the one that most helps to prevent and slow down contagion.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Mauro Montealegre Cárdenas



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Firma:

Nombre Jurado: Christian Cortes García

Firma: Christian Camilo Cortes García

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES DE DIFERENTES ESCENARIOS DE LA
EVOLUCIÓN Y DISPERSIÓN DEL VIRUS COVID-19 EN EL MUNICIPIO DE
ALGECIRAS**

David Leonardo Ñañez Moreno
Cesar Stivens Duran Céspedes

Asesor: Manuel Ovalle

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS DE LA
COMPLEJIDAD
NEIVA, COLOMBIA
2022

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. RESUMEN	7
CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
3.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	14
3.3 ENUNCIACIÓN DEL PROBLEMA	14
CAPITULO 4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	15
4.1 ANTECEDENTES	15
4.1.1 Antecedentes internacionales	15
4.1.2 Antecedentes nacionales	22
4.2 JUSTIFICACIÓN	28
CAPÍTULO 5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	29
5.1 MARCO TEÓRICO	29
5.1.1 Sistemas complejos	30
5.1.1.1 ¿Qué es un sistema complejo?	30
5.1.1.2 Características de los sistemas complejos.	31
5.1.1.3 Tipos de sistemas complejos	32
5.1.1.4 Ejemplos de sistemas complejos	33
5.1.2 Sistemas Complejos Adaptativos (SCA)	34
5.1.3 Simulación de sistemas	37
5.2 MARCO LEGAL	38
5.3 MARCO REFERENCIAL	40
5.4 MARCO INSTITUCIONAL	42
CAPÍTULO 6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	46
6.1 OBJETIVO GENERAL	46
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	46
CAPÍTULO 7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
7.1 TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	47
7.2 UNIVERSO DE ESTUDIO, POBLACIÓN Y MUESTRA	47
7.3 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS	47
7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	63

CAPITULO 8. RESULTADOS	64
CAPITULO 9. CONCLUSIONES	79
CAPITULO 10. BIBLIOGRAFÍA	81
CAPITULO 11. ANEXOS	86
11.1 ANEXO 1. ÁRBOL DE PROBLEMAS	86

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Categorías del triage</i>	38
<i>Tabla 2. Personal adscrito a los subprocesos de la sección de Urgencias, Hospitalización y Sala de Partos de la ESE Hospital municipal de Algeciras</i>	42
<i>Tabla 3. Cantidad de infraestructura adecuada para el servicio de Urgencias</i>	42
<i>Tabla 4. Entidades, variables de estado y escalas.</i>	46
<i>Tabla 5. Clasificación de los grupos de edad.</i>	53
<i>Tabla 6. Tipos de Parámetros</i>	56
<i>Tabla 7. Distribucion poblacional decenal segun su grupo de edad</i>	62
<i>Tabla 8. Parámetros médicos</i>	63
<i>Tabla 9. Parámetros de interacción social</i>	63
<i>Tabla 10. Resumen de los escenarios simulados</i>	71

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Relación pacientes atendidos por unidad COVID19	53
Gráfica 2. Relación resultados pruebas de pacientes COVID19.	54
Gráfica 3. Relación número de pacientes atendidos según sexo.	54
Gráfica 4. Relación casos positivos según el grupo de edad.	55
Gráfica 5. Relación de pacientes atendidos en la unidad COVID 19 según día de la semana.	55
Gráfica 6. Acumulados reales infectados vs. acumulados simulados infectados. Escenario 1.	65
Gráfica 7. Comportamiento del error. Escenario 1.	65
Gráfica 8. Acumulados reales infectados vs. acumulados simulados infectados. Escenario 2.	67
Gráfica 9. Comportamiento del error. Escenario 2.	68
Gráfica 10. Comportamiento del error. Escenario 3.	69
Gráfica 11. Comportamiento del error. Escenario 3.	70
Gráfica 12. Datos acumulados reales vs acumulado de escenarios.	72
Gráfica 13. Comportamiento semanal. Escenario 1.	73
Gráfica 14. Comportamiento semanal. Escenario 2	73
Gráfica 15. Comportamiento semanal. Escenario 3.	74

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa del municipio de Algeciras, Huila.</i>	41
<i>Figura 2. Pseudocódigo del loop principal de simulación.</i>	47
<i>Figura 3. Ejecución de los agentes.</i>	48
<i>Figura 4. Mecanismo de exposición a la infección.</i>	48
<i>Figura 5. Interacción social entre agentes.</i>	49

CAPITULO 1. RESUMEN

El modelo presentado es una adaptación que fue codificada de una simulación de múltiples agentes que visualiza la dinámica emergente de la interacción e influencia de un subconjunto de factores biológicos y sociales en el desarrollo de la pandemia COVID-19 en el último trimestre del año 2020. El modelo se implementa en NetLogo (lenguaje de programación y entorno de simulación adaptado para simular fenómenos en donde intervienen múltiples agentes interactuando). El objetivo es simular mediante un enfoque didáctico, diferentes escenarios según los decretos expedidos durante el tiempo de estudio ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus. Se analizaron tres escenarios de evolución del COVID19 en el municipio de Algeciras-Huila, con diferentes niveles de restricción en la movilidad de la población. Expresados en cantidad de días con cuarentena parcial, fueron: E1 28 días, E2 10 días y E3 0 días, durante una simulación de 92 días corridos. El modelo permitió operacionalizar la manera en que distintas variables interactúan entre sí. Esto posibilita simular en un contexto multidimensional el efecto no lineal de variables explicativas sobre la evolución del COVID-19. El aislamiento social es, en todos los casos, la medida que más incide en el comportamiento de la difusión del virus, por lo tanto, la que más ayuda a la prevención y la ralentización del contagio.

ABSTRACT

The presented model is an adaptation that was coded from a multi-agent simulation that visualizes the emerging dynamics of the interaction and influence of a subset of biological and social factors in the development of the COVID-19 pandemic in the last quarter of the year 2020. The model is implemented in NetLogo (programming language and simulation environment adapted to simulate phenomena involving multiple interacting agents). The objective is to simulate, through a didactic approach, different scenarios according to the decrees issued during the study time, adjusting demographic, medical, social and institutional parameters associated with the evolution and dispersion of the virus. Three scenarios for the evolution of COVID19 in the municipality of Algeciras-Huila were analyzed, with different levels of restriction on the mobility of the population. Expressed in number of days with partial quarantine, they were: E1 28 days, E2 10 days and E3 0 days, during a simulation of 92 consecutive days. The model made it possible to operationalize the way in which different variables interact with each other. This makes it possible to simulate in a multidimensional context the non-linear effect of explanatory variables on the evolution of COVID-19. Social isolation is, in all cases, the measure that most affects the behavior of the spread of the virus, therefore, the one that most helps to prevent and slow down contagion.

CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN

La simulación computacional es una representación cuyo objetivo es generar una aproximación lo más precisa posible de la realidad sobre un fenómeno determinado que se pretende describir, concretar y explorar su estructura, relaciones y comportamientos con un medio. La simulación es posible gracias a los modelos, hoy en día vistos como mecanismos para generar nueva información que pone a prueba teorías en las diferentes áreas de las ciencias exactas, permite examinar críticamente dichas teorías y son una herramienta con gran potencial que además de las ciencias exactas, se está desarrollando en las ciencias sociales.

En las ciencias sociales, los modelos son conocidos como modelos socio espaciales, resultado de la acción de entidades sociales. Se han comenzado a explorar posibilidades para que sean expresados en un lenguaje de una manera distinta al cotidiano o matemático, como es el lenguaje computacional.

“El modelamiento y (sobre todo) las simulaciones son específicos de los sistemas de complejidad creciente. Esta idea requiere aún una incorporación y una elaboración por parte de quienes se inician en el estudio y el trabajo en profundidad con la complejidad” (Maldonado & Gómez-Cruz, 2010).

Opuesto a esto cuando se refería al modelado tradicional bajo el plano de las ciencias tradicionales, que consistía en la elaboración de un modelo que asumía una simplificación del mundo y garantizaba una aproximación a la realidad con una única solución sé que daba un tanto corta cuando de fenómenos de alta complejidad se trata.

“El fundamento de este tipo de modelamiento se basó, por ejemplo, en la mecánica clásica, la lógica formal clásica, el cálculo, las ecuaciones diferenciales o la geometría euclidiana. Pues bien, pese a que este tipo de modelos suele admitir soluciones precisas (=exactas), estas últimas se corresponden usualmente con el modelo, pero no con el problema real al que se refieren. Es así como la ciencia clásica nos llevó, cada vez más, a una sobre simplificación de la realidad como la forma única de comprensión y actuación sobre el mundo” (Maldonado & Gómez-Cruz, 2010).

Entonces cuando se habla de fenómenos complejos, ya no es admisible tratar de darle una única solución ayudándonos de un simple modelo, se habla de múltiples soluciones a través de técnicas tales como los autómatas celulares, el modelamiento y la simulación basados en agentes o los modelos bio-inspirados (incluidas las metaheurísticas). Es conveniente que en este caso

particular se tome esta metodología ya que afecta todo tipo de arandelas sociales, y se nombran únicamente este tipo de problemáticas (ya que es extenso el sin número de fenómenos que se les puede denominar complejos), siendo más específicos: el comportamiento de un virus altamente contagioso, una sociedad sumamente descuidada por su cuidado de contagio, un estado lento en la resolución de alternativas para la seguridad de sus habitantes, múltiples movilizaciones sociales, creencias, supersticiones y demás personas que no se vacunan entre otros múltiples atributos y situaciones que han hecho este virus sea puesto en consideración por los diversos organismos de salud.

El 31 de diciembre de 2019, el municipio de Wuhan en la provincia de Hubei, China, informó sobre un grupo de casos de neumonía con etiología desconocida. El 9 de enero de 2020, el Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades informó un nuevo coronavirus como agente causante de este brote. El 30 de enero de 2020, el director general de la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró que el brote era una emergencia de salud pública de importancia internacional (ESPII), aceptando los consejos del Comité de Emergencia del Reglamento Sanitario Internacional (RSI). El 11 de febrero, siguiendo las mejores prácticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para nombrar nuevas enfermedades infecciosas humanas, la OMS denominó a la enfermedad, COVID-19 (por sus siglas en inglés), abreviatura de enfermedad por coronavirus 2019. El mismo día, el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV, por sus siglas en inglés) anunció "coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2)" como el nombre del nuevo virus que causa la COVID-19 (Centro de Prensa - OMS., 2020).

Finalmente, el 11 de marzo de 2020 el director general de la OMS declaró la pandemia asociada con COVID-19. Resumen de la situación global hasta el 15 de mayo de 2020, se han notificado a nivel global 4.534.786 casos confirmados de COVID-19. Del total de casos reportados, el número de defunciones incluidas ha superado las 300.000 con 307.101 defunciones reportadas. Se ha observado una disminución en el número de nuevos casos y de defunciones por COVID-19 reportados desde China desde febrero y un aumento acelerado en el número de casos y defunciones reportadas por países fuera de China, principalmente impulsados por algunos países europeos y los Estados Unidos de América. "Al 15 de mayo de 2020, los Estados Unidos de América (87.493 defunciones), Reino Unido (34.075 defunciones), Italia (31.610 fallecidos), España (27.459

fallecidos) Francia (27.532 defunciones) aportan la mayor parte del total de defunciones a nivel global” (Romero et al., 2020).

El COVID19 llegó para quedarse, llegó para que las nuevas generaciones se adapten a convivir con este virus que cada vez toma más fuerza al mutar, haciendo, por tanto, menospreciar el uso de vacunas que no hacen inmune en su totalidad el ser humano; incluso hasta hace poco en Colombia se habla de unos terceros módulos de vacunación por posibles nuevas cepas del COVID 19. Es por esta razón que este estudio se ha enfocado en la evolución y dispersión del virus en una determinada población, con el objetivo de constituir un medio para explorar posibles escenarios (predictivo, exploratorio y normativo) sobre el devenir de la pandemia. Se considera la posibilidad de implementar un modelo computacional sobre la evolución del COVID-19 con base en el marco teórico-conceptual expuesto, permite incrementar el conocimiento y entendimiento sobre las interacciones de las dimensiones demográficas, médicas, sociales e institucionales asociadas a la evolución y dispersión del virus. Lo anterior con el fin de anteponerse al devenir del comportamiento del virus en la población para crear una lista de medidas preventivas a este y demás mutaciones venideras que han surgido a nivel mundial.

CAPITULO 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El COVID19 ha dejado miles de muertes alrededor del mundo, sin importar raza, color u origen. No solo muertes, trajo consigo una serie de cambios en los centros de salud, escuelas, universidades, empresas, nuestra vida diaria y entre otros cambios. Este virus, es tan poderoso que no han concebido una cura 100% eficaz, esto quiere decir, que debemos adaptarnos a convivir con este en nuestra vida diaria de aquí en adelante, hasta las próximas generaciones se desarrollarán a la par con el virus, a menos que la ciencia coloque un pie delante de este y gane la batalla.

En Colombia, tenemos como resultado un avance en las unidades de cuidado intensivo (UCI), un avance forzoso debido a las consecuencias del virus, tal avance no ha cambiado durante todo este tiempo de pandemia, el mismo personal, las mismas unidades UCI, la misma cantidad de respiradores artificiales, etc. Los afectados son la clase media y de bajos recursos, ya que todo paciente con complicaciones de salud debido al virus, no tiene la posibilidad de acceder a una UCI debido a la alta demanda de contagios, pocos son los privilegiados que tienen acceso, y en su mayoría cuentan con buen recurso económico.

Las personas encargadas de las estadísticas, como cifra de contagiados y predecir picos (altos números de casos positivos), describen la dispersión y comportamiento del virus con ciencias y métodos tradicionales tales como la estadística descriptiva, regresiones lineales y demás métodos ambiguos. Esta problemática debe ser vista a partir de las nuevas ciencias, de las ciencias de la complejidad, donde destacan características como la no linealidad, la incertidumbre, el caos y la emergencia cuyas características se destacan en los sistemas sociales, sistema donde se desarrolla el virus.

El COVID19 es un problema de tipo interdisciplinar, no es un problema únicamente del sistema de salud local, propiamente hablando no es algo que siquiera una sola entidad pueda dar solución. En Colombia se ha recargado totalmente la problemática para que la resuelva el sistema de salud, la resolución y una visión real para del comportamiento del virus no es trabajo de una sola disciplina, es un problema que debe ser abordado por un determinado conjunto de disciplinas que por medio de las ciencias de la complejidad pueden trabajar de la mano para encontrar soluciones a esta problemática, que como ya se mencionó, llegó para quedarse.

Las ciudades son las más afectadas debido a la cantidad de habitantes, al flujo diario de personas en las principales calles y medios de transporte público, están más expuestas al virus y son los que más afectados se han visto. Como ya se mencionó antes, existen varios eventos que han dado hincapié para la proliferación del virus en todo el país, en diferentes departamentos y ciudades y pueblos que los conforman se han visto afectados por movilizaciones sociales, falta de conciencia por parte de los mismos habitantes, la no efectiva y rápida gestión del gobierno para la búsqueda de alternativas sanitarias para disminuir su propagación, incluso creencias y supersticiones que ha tomado la población para no vacunarse y así reducir el riesgo. Este tipo de comportamientos y eventos perjudiciales se han reflejado en todo el país, tal cual como si hubiera auto organización de la proliferación del virus en Colombia. Para hacer una aproximación lo más cercana posible a la realidad, se debe abarcar una población en su totalidad, la ciudad consta de un alto número de habitantes, razón por la cual si se quiere hacer un estudio certero va resultar una aproximación no precisa y además las herramientas computacionales son limitadas de acuerdo al procesador y demás características para simular eventos de tal tamaño.

De acuerdo a lo anterior, se ha determinado como lugar de estudio el municipio de Algeciras, Huila. Este cuenta con 22,481 habitantes (Departamento nacional de estadísticas. DANE, 2019), la población cuenta solamente con un centro asistencial básico con nivel I de complejidad, cabe resaltar que, la complejidad de un hospital en una ciudad es mucho más alta, posee muchos grados de libertad comparado con el hospital de un municipio y esto también motivo a que fuera un factor en la decisión del espacio muestral donde se llevará a cabo la investigación. Por otra parte, Colombia cuenta con más municipios que ciudades, de esa forma podemos trascender la investigación siendo ajustada a los parámetros que posee cada municipio, cabe resaltar que, el hospital de Algeciras cuenta con dos entradas al servicio de urgencias, una para pacientes con sintomatología COVID19 y otra entrada para pacientes con síntomas no asociados al virus. Dicha medida tomada por el hospital es con el fin de que las personas no teman asistir a los demás servicios que presta el hospital; las entradas están posicionadas en puntos estratégicos para evitar que usuarios que asistan al hospital se expongan al virus, razón por la cual es una ventaja para los usuarios debido a la reducción del tiempo de atención (por los dos flujos de entrada) y para el desarrollo del trabajo ya que contamos con una base de datos de solo posibles pacientes COVID19.

¿Cómo simular mediante el modelado basado en agentes diferentes escenarios inciertos ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus en el municipio de Algeciras?

3.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible crear un modelo conceptual que reúna, estructure y facilite el estudio de la conducta del virus COVID 19 para el entendimiento de los distintos aspectos que se deben considerar para la construcción de un MBA?

¿Se puede replicar dicho simulador en otros municipios demográficamente similares al caso de estudio a partir de métricas del comportamiento complejo?

¿Qué tan eficaz es el modelo a la hora de tomar decisiones públicas para reducir y prevenir la transmisión del virus COVID 19?

¿Este modelo de simulación se podría implementar en otros municipios simplemente introduciendo datos de cada lugar?

3.3 ENUNCIACIÓN DEL PROBLEMA

El mundo entero está siendo afectado por el virus COVID 19 catalogado como una pandemia la cual no ocurrió hace mucho tiempo. El trabajo conjunto de varios centros de investigación ha alcanzado significativas metas, pero terminan siendo insuficientes a medida que transcurre el tiempo, ya que el virus se desarrolla y toma más fuerza. En gran parte, son estas dos razones que toman fuerza para llevar a cabo dicha investigación, proponer un modelo que permita tomar decisiones de manera acertada con el objetivo de prevenir y reducir los contagios de COVID 19 en una dicha población para luego ser replicada a las demás y a medida este siendo innovada de acuerdo al desarrollo del virus.

CAPITULO 4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

4.1 ANTECEDENTES

4.1.1 Antecedentes internacionales

El desarrollo de la pandemia con origen en Wuhan, China, ha permitido la apertura de campos de investigación y aplicación de modelos pensados inicialmente para otros escenarios, por tanto, en el presente apartado se describen algunas investigaciones relacionadas con el manejo, predicción de la ocurrencia de casos Covid-19 a nivel mundial y que se asocian con el desarrollo de la investigación a realizarse en el municipio de Algeciras, Huila.

Implicaciones sociales de la pandemia y su apoyo en las ciencias de la computación.

Aguilar Castro y Terán Villegas (2021), desarrollaron el trabajo titulado *COVID-19 y sus implicaciones sociales: una mirada desde las ciencias computacionales*, el trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión acerca de las diferentes herramientas de IA utilizadas para ayudar a controlar la pandemia, en especial los Modelos Computacionales desarrollados sobre la epidemia, así como diversos proyectos específicos en esta área; luego presenta un modelo del COVID-19 basado en Mapas Cognitivos Difusos Multicapa (una herramienta de la IA); y, finalmente, examina las perspectivas de la sociedad en diversos ámbitos ante el futuro avance de la pandemia y la aplicación intensiva de herramientas TIC en la vida social. La mayoría de los proyectos en el área de IA sobre el COVID-19 están tratando de explotar todo el conocimiento y datos disponibles, por lo que se han venido basando principalmente en los paradigmas de ciencias de datos, aprendizaje automático y datos masivos, con el fin de estudiar y ayudar a salir de la actual crisis sanitaria mundial. La ayuda de la IA para aquellas personas que toman decisiones es crucial, ya que juega un papel muy relevante en la detección, diagnóstico, pronóstico, prescripción, entre otras cosas, sobre el riesgo de contagio, los planes de contingencia, la gestión y distribución de las ayudas económicas, los estudios para la creación de tratamientos, etc. El poder de la IA se debe a su capacidad para analizar infinidad de variables y detectar interacciones entre ellas que son imperceptibles para el ser humano, permitiendo obtener resultados más precisos. El artículo nos muestra los distintos tipos de herramientas orientadas al Data Science que han utilizado las diferentes potencias mundiales, pero a su vez concluye hablando del devenir de la pandemia de la incertidumbre que nos produce otras posibles mutaciones del virus además de la delicada línea de

querer ayudar a la humanidad con sus datos o aprovecharse de ellos para realizar otro tipo de estudios para el beneficio económico de diferentes industrias, es un tema a debatir.

Simulación de epidemias bajo contingencias.

Satu Schaeffer (2021), publicó un documento de investigación que busca implementar modelos del comportamiento de epidemias en una población mediante técnicas de simulación multi agente, teniendo en cuenta medidas de contingencia de acuerdo a la epidemia. El objetivo es identificar hasta qué grado diversos factores propician o disminuyen el número de contagios, y con ello, apoyar la toma de decisiones de salud pública.

Como resultados esperados, diseñar, implementar y analizar una simulación multi-agente epidemiológica que permita medir los efectos que tienen distintas medidas de contención contra el contagio y propagación de una enfermedad infecciosa.

Modelo logístico-inteligente para el acceso oportuno al servicio prehospitalario con sintomatología COVID19.

Los estudiantes de la facultad de ciencias y matemáticas de la Universidad de Guayaquil, Lozado Plua y Ramos Moncayo (2021), propusieron el diseño de un modelo predictivo de servicios prehospitalarios mediante el uso de algoritmos supervisados de aprendizaje de máquina que permita mejorar los tiempos de respuesta relacionados con COVID19.

Con la llegada del virus a Ecuador, una de las áreas más afectadas fue el sistema de salud pública, que, debido a la cantidad de llamadas de emergencias relacionadas al virus, los servicios prehospitalarios terminaron saturándose a tal punto que hubo un aumento en los tiempos de respuesta a las llamadas de auxilio, de acuerdo a lo anterior, por esta razón fue direccionada la investigación a esta problemática. Por medio del uso de las metodologías de investigación documental y científica se logra obtener las variables relacionadas con los servicios prehospitalarios, que permitió determinar los algoritmos a usar (Random Forest y K-NN). Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la aplicación de las metodologías de desarrollo de prototipo y pasos para la construcción de un modelo Machine Learning.

En conclusión, el modelo permite ser un asistente de apoyo a la toma de decisión del operador automatizando el proceso, por consiguiente, reduciendo el tiempo de respuesta del servicio prehospitalario.

Técnicas de simulación y modelización relacionadas al COVID19.

Aludiendo a la anterior metodología que toma como técnicas la simulación basada en agentes, Gómez Marín et al. (2021), bajo la dirección de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia, Buenos Aires - Argentina, en su investigación se presenta un modelo basado en la simulación de múltiples agentes que visualiza la dinámica emergente de la interacción e influencia de un subconjunto de factores biológicos y sociales en el desarrollo de la pandemia COVID-19. El modelo se implementa en NetLogo (lenguaje de programación y entorno de simulación adaptado para simular fenómenos en donde intervienen múltiples agentes interactuando). El objetivo es simular mediante un enfoque didáctico, diferentes escenarios hipotéticos ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus. Se analizaron cuatro escenarios de evolución del COVID19 en Argentina, con diferentes niveles de restricción en la movilidad de la población. Expresados en cantidad de días con cuarentena parcial, fueron: E1: 90 días, E2: 0 días, E3 63: días y E4: 48 días, durante una simulación de 90 días corridos. El modelo permitió operacionalizar la manera en que distintas variables interactúan entre sí. Esto posibilita simular en un contexto multidimensional el efecto no lineal de variables explicativas sobre la evolución del COVID-19. El aislamiento social es, en todos los casos, la medida que más incide en el comportamiento de la difusión del virus, por lo tanto, la que más ayuda a la prevención y la ralentización del contagio.

Es claro que en un modelo Basado en Agentes no se es conveniente hablar de tan solo una solución a una problemática sino de varias posibles soluciones o más bien un conjunto de soluciones, el artículo presentado nos mostró diferentes soluciones pues la problemática puede variar de acuerdo al escenario impuesto. Concluyendo que en los modelos basados en agentes nos detallan aún más la realidad y nos provee de mucha información para protegernos de la pandemia, aunque no se utilice un modelo para predecir, perfectamente como este, se puede utilizar para llegar a una aproximación mucho más cercana a cómo se comporta el fenómeno en cuestión y realizar las medidas respectivas a una determinada población.

Por otro lado ya hay investigaciones relacionadas con el devenir de la pandemia y se sitúan en lo que será después en algunas organizaciones con alto flujo de personas, por tal razón es conveniente utilizar la simulación para este tipo de eventos que suelen ocurrir en el diario vivir; Marco D’Orazio, Gabriele Bernardini y Entico Quagliarini, (2020), en su investigación que tiene

como objetivo principal proporcionar un modelo basado en agentes para estimar la propagación del virus en el entorno construido cerrado utilizan un modelo que adopta un enfoque probabilístico para simular conjuntamente los ocupantes movimiento y transmisión de virus de acuerdo con las reglas basadas en la proximidad y el tiempo de exposición propuestas por las organizaciones internacionales de salud. Los escenarios se pueden definir en términos de ocupación de edificios, estrategias de mitigación y aspectos relacionados con virus. El modelo se calibra con datos experimentales (crucero "Diamond Princess") y luego se aplica a un estudio de caso relevante (una parte de un campus universitario).

Los resultados demuestran las capacidades del modelo. Con respecto al estudio de caso, la adopción de máscaras faciales parece ser una estrategia primordial para reducir la propagación del virus en cada condición inicial, manteniendo un número aceptable de personas infectadas. La limitación de la capacidad de construcción podría respaldar tal medida al pasar potencialmente de las máscaras FFPk al uso de máscaras quirúrgicas por parte de los ocupantes (mejorando así los problemas de comodidad de los usuarios). Se propone un modelo preliminar para combinar de manera aceptable filtros de máscara y densidad de ocupantes. El modelo podría modificarse para considerar otros escenarios recurrentes en otros edificios públicos (por ejemplo, instalaciones turísticas, edificios culturales). En vista del reinicio de los edificios públicos y sus actividades luego de la fase de cierre por la emergencia COVID-19, las estrategias de mitigación deben implementarse en el entorno construido cerrado para evitar picos secundarios en el virus difundiéndose entre las comunidades. En este sentido, las herramientas de simulación podrían apoyar las decisiones de las partes interesadas en la vista de optimizar las medidas a adoptar. Este documento proporciona el desarrollo de un modelo basado en agentes para estimar la propagación del virus en entornos cerrados. El modelo propuesto se puede aplicar a edificios públicos que albergan, es decir, oficinas, universidades o escuelas, que se caracterizan por los mismos usuarios diarios. El modelo puede incluir la representación de estrategias de mitigación de contagio relacionadas con el uso de máscaras faciales / dispositivos de protección respiratoria, control de densidad de los ocupantes (en vista de mantener el distanciamiento social estrategias) y otras estrategias de control de acceso. También es capaz de proporcionar una primera medida cuantitativa de la implementación de tales estrategias por parte de las partes interesadas relativas. Después de su implementación en una herramienta de software y las actividades de calibración los resultados muestran cómo el modelo parece reproducir fielmente lo sucedido en entornos cerrados,

pudiendo así representar el impacto de las estrategias de mitigación del contagio para limitar la propagación del contagio durante el tiempo, es decir, el uso de máscaras faciales por parte de los usuarios, la limitación de las densidades de ocupantes. Por lo tanto, la efectividad de cada estrategia (individualmente adoptado) y de la combinación entre diferentes medidas podría ser evaluado por el simulador.

Modelos basados en agentes aplicados exclusivamente al COVID 19.

En Estados Unidos- Australia, en colaboración con diferentes investigadores Kerr et al., (2021) describen la metodología de Covasim (COVID-19 Agent-based Simulator), un modelo de código abierto desarrollado para ayudar a abordar estas preguntas. Covasim incluye información demográfica específica del país sobre la estructura de edad y el tamaño de la población; redes de transmisión realistas en diferentes capas sociales, incluidos hogares, escuelas, lugares de trabajo, centros de atención a largo plazo y comunidades; resultados de la enfermedad específicos por edad; y dinámica viral intrahospitalaria, incluida la transmisibilidad basada en la carga viral.

Covasim también apoya un amplio conjunto de intervenciones, incluidas las no farmacéuticas, como el distanciamiento físico y el equipo de protección; intervenciones farmacéuticas, incluida la vacunación; e intervenciones de prueba, como pruebas sintomáticas y asintomáticas, aislamiento, rastreo de contactos y cuarentena. Estas intervenciones pueden incorporar los efectos de retrasos, pérdidas durante el seguimiento, micro-focalización y otros factores.

Implementado en Python puro, el simulador ha sido diseñado con el mismo énfasis en el rendimiento, la facilidad de uso y la flexibilidad: los escenarios realistas y altamente personalizados se pueden ejecutar en una computadora portátil estándar en menos de un minuto. En colaboración con agencias de salud locales y formuladores de políticas, Covasim ya se ha aplicado para examinar la dinámica de la epidemia e informar las decisiones políticas en más de una docena de países de África, Asia-Pacífico, Europa y América del Norte.

Modelo dinámico de la pandemia de COVID19.

El 31 de enero del 2021, fue aceptada la investigación que tiene como título “Modelo Dinámico de la Pandemia de COVID19” descrita por Delgado (2021). Dicha investigación desarrollo el modelo MEDS. COVID19, un modelo de simulación dinámica basada en la técnica

de Dinámica de Sistemas, bajo un enfoque de visión sistémica de la problemática social y sanitaria como consecuencia del virus. Los resultados se han simulado de acuerdo a los datos reales presentados en Madrid, España.

La pandemia COVID19 está generando un empeño internacional por conocer los principales aspectos dinámicos que derivan de la crisis epidémica, por lo que en todo el mundo toman iniciativas con el desarrollo de modelos matemáticos. El modelo de esta investigación se desarrolla sobre los mismos principios del modelo matemático SIR, extendiendo, como lo hacen otros modelos, las variables de nivel a los colectivos de pacientes hospitalizados, cuarentenas y No detectados.

Como conclusión de tiene que la Dinámica de Sistemas facilita la comprensión de todo el proceso de modelado y simulación a profesionales no matemáticos. También, se evidencia un grave problema que supone el colectivo de infectados “no detectados”, causa de la propagación de la epidemia y de su difícil control, así como la dificultad técnica para detectarlos que supone la falta de fiabilidad de los datos por esta razón. Por último, recalcan que el principal valor de los modelos predictivos no es que va suceder, dado que el régimen caótico de los acontecimientos en respuesta a las medidas de primera instancia, son impredecibles, pero para lo que si sirven es para advertir sobre lo que sucederá.

Modelos estadísticos predictivos en relación al COVID19.

El 01 de julio de 2021, un equipo de especialistas pertenecientes a la Universidad de Costa Rica, implementó cuatro modelos estadísticos (Logístico, Richards, Gompertz y Exponencial) para apoyar las decisiones en torno a la atención de los eventos provocados por la COVID19. El 06 de marzo de 2020, se confirmó el primer caso de COVID19 en Costa Rica, razón por la cual motivo a este grupo de especialistas a tomar este evento en particular para desarrollar la investigación “Modelado estadístico para la gestión de los primeros tres meses de la COVID19 en Costa Rica” (Rojas et al., 2021).

El objetivo de la investigación fue preparar estudios sobre el comportamiento de la curva de contagio y su efecto en la ocupación de camas hospitalarias durante los primeros tres meses partiendo del día en que se confirmó el primer caso en la isla. Los estudios se basaron en la estimación de modelos estadísticos de crecimiento exponencial y logístico, los cuales

proporcionaron los pronósticos de casos diarios. Lo anterior permitió alimentar un modelo de simulación para la proyección de demanda de camas hospitalarias por pacientes de la COVID19. También estimaron el número de reproducibilidad mediante estadística Bayesiana para cuantificar la transmisibilidad del virus.

En conclusión, los resultados permitieron anticipar el comportamiento del virus y el potencial efecto de las medidas de contención que se adoptaron a partir de la declaratoria de emergencia nacional. La articulación y conformación de un equipo interdisciplinario de investigación se generaron estudios alrededor del comportamiento del virus y el impacto en el uso de camas hospitalarias de uso general y de cuidados intensivos. Por último, ha permitido evidenciar cómo un equipo de profesionales ha optimizado por medio de informes la forma de presentar gráficos y los análisis para interpretación menos compleja.

Investigaciones de simulación y modelización basada en agentes sobre el devenir de la pandemia.

Son muchas las investigaciones que se están centrando ahora mismo en intentar simular las diferentes escenarios que se pueden dar reabriendo y dando un poco más de libertinaje a la población de países y ciudades grandes que los conforman, surgen muchas preguntas sobre qué pasaría si se reabrieran muchos sistemas a la vez teniendo en cuenta que ya hay individuos que ya están vacunados y de alguna forma son menos propensos al contagio, en su investigación Jun Huang Li y Philippe Gabbanelli, Estados Unidos, (2021); estudiaron la efectividad de una campaña de vacuna a nivel nacional en respuesta a diferentes eficacias de vacuna, la disposición de la población a vacunarse y la capacidad diaria de vacunación bajo dos planes federales diferentes. Para caracterizar los posibles resultados con mayor precisión, también tenemos en cuenta las interacciones entre las intervenciones no farmacéuticas y las vacunas a través de 6 escenarios que capturan una variedad de posibles impactos de las intervenciones no farmacéuticas. Ellos utilizaron como método las simulaciones a grandes escalas basadas en agentes mediante la implementación de la campaña de vacunación con COVASIM, un modelo de código abierto basado en agentes para COVID-19 que se ha utilizado en varios estudios revisados por pares y explica la heterogeneidad individual y una multiplicidad de redes de contactos. Se realizaron varias modificaciones a los parámetros y la lógica de simulación para alinear mejor el modelo con la evidencia actual. Elegimos 6 escenarios de intervención no farmacéutica y aplicamos la intervención de vacunación siguiendo

tanto el plan propuesto por Operation Warp Speed (antigua administración Trump) como el plan de un millón de vacunas por día, propuesto por la administración Biden. Sus resultados fueron que para los planes de vacunación como para todos los escenarios de intervención no farmacéutica, la presencia de la intervención de la vacuna reduce considerablemente el número total de infecciones cuando la vida vuelve a la normalidad, incluso cuando el cumplimiento de la población con las vacunas es tan bajo como el 20%. Sin embargo, llegaron a una concisa conclusión y es que, Aunque son potentes, las vacunas por sí solas no pueden acabar de forma eficaz con la pandemia dadas las estimaciones de disponibilidad actual y la estrategia de vacunación adoptada. Las intervenciones no farmacéuticas deben continuar y aplicarse para garantizar un alto cumplimiento de modo que la tasa de inmunidad establecida por la vacunación supere a la inducida por infecciones.

4.1.2 Antecedentes nacionales

En vista de que la pandemia ha tenido fuertes repercusiones para el pueblo colombiano, diversas instituciones e investigadores se han dado a la tarea de buscar estrategias para el manejo del Covid-19 no solo desde el ámbito de salud sino de una forma transversal, a continuación, se mencionan algunas investigaciones realizadas en instituciones de educación superior y que han dado luces para el manejo de la pandemia tanto a nivel local como nacional.

En la investigación realizada por Cárdenas Garnica (2020) presenta una problemática de distribución espacial en el campus de la Universidad Javeriana, los estudiantes por su cantidad poblacional no les era posible situarse todos al tiempo en dicho lugar, la investigación tuvo como objetivo principal formular un modelo de simulación que permita, por medio de la metodología basada en agentes, asignar a los estudiantes en tiempo real los espacios disponibles dentro de un campus universitario, que se adecúen a los requerimientos que demandan sus labores académicas.

En su investigación también se realizó un modelo lineal matemático para el aforo del campus universitario, este se comparó con el modelo multi agente, comprobando que este último mostraba resultados más cercanos y detallados acerca de la distribución de los diferentes grupos de estudios esparcidos por el campus, además en este modelo se tuvo en cuenta los nuevos grupos que entraban a situarse allí. Este modelo lineal se mantenía como referencia al modelo multi agente.

Dentro de los resultados se estableció que el modelo multi agentes se comporta de forma más similar a la vida real y sus resultados se pueden comparar con los de un modelo lineal en términos de eficiencia. Otro resultado y reflexión importante fue que vista en la capacidad de datos

de entrada ya que el modelo multi agentes no tiene limitaciones para la cantidad de información que se le ingresa, permitiendo probar escenarios de mayor magnitud e incluso observar cómo se comportarían los espacios restantes en caso de que se ingrese un nuevo grupo después de que el modelo multi agentes haya iniciado su ejecución, es decir, que podría ser aplicado en tiempo real como una propuesta para avanzar hacia la implementación de un Smart Campus. Se es visible además la capacidad de flexibilidad, este tipo de estudios enfocados en la modelización basada en agentes no solo se podría aplicar a el campus universitario que se mostró en esta investigación sino en otros también, de manera sencilla, debido a la dinámica de estos modelos.

A pesar de no ser una investigación centrada en el comportamiento del virus COVID 19, es importante señalarla debido a que como se sabe la alta transmisión del COVID ha hecho que en diferentes espacios se haya vetado su uso o su aforo sea en lo más mínimo posible, por ende es importante replantear diversos sistemas y lugares como centros comerciales, hospitales escenarios en donde posiblemente puedan asistir muchas personas y tomar esta metodología realizada en esta investigación e implementarla allí.

Investigaciones acerca de Modelos predictivos del COVID 19 sobre contagios

En la investigación *Uso de modelo predictivo para la dinámica de transmisión del Covid-19 en Colombia*, propuesta por Jorge Enrique Diaz Pinzón el 4 de mayo de (2020) que tuvo como objetivo presentar una serie de modelos predictivos de la dinámica de transmisión del COVID-19 en Colombia, para ello se utilizó como método de trabajo el modelo lineal de Brown, teniendo en cuenta como punto inicial la primera persona infectada. Este modelo que, aunque a largo plazo no se acomoda a las cifras dada a corto y a mediano plazo si (en términos de tiempo), cumple con el objetivo que es tratar de mitigar los valores picos de la función por medio de un coeficiente denominado Alfa. Como ya se ha dicho la meta por ende de los métodos de serie de tiempo es manifestar el patrón en los datos históricos y luego extrapolarlo hacia el futuro, el pronóstico se fundamenta en valores pasados de la variable que se trata de predecir. Para desarrollar su investigación se utilizó la base de datos de personas confirmadas con el virus proporcionadas por el Ministerio de salud y protección social en Colombia, se utilizó el paquete estadístico SPSS v25. Se identificó la función a relación que describiría el comportamiento del virus, en detalle se halló el coeficiente de contagio por género, luego ya fue simplemente una vez hallada la función

otorgarle valores de tiempo para determinar el número de contagios en alguna fecha. Se predijo además que para agosto del año 2020 los resultados de Colombia no serían nada halagadores.

De acuerdo con Díaz, en su trabajo de investigación Precisión del pronóstico de la propagación del COVID-19 en Colombia, utilizando el método lineal de Brown, determinó que el error de pronóstico fue muy bajo, y correspondió al MAPE (error porcentual medio absoluto), con un 0,03%, seguido del MAD (desviación media absoluta), con un valor de 0,95, es decir que en ambos casos la predicción obtuvo un alto grado de confiabilidad. En su investigación se advirtió de los posibles números de distintas fechas de contagiados que tendría Colombia ajustados a su función, también se realizaron algunas recomendaciones para mitigar la tasa de contagio.

Modelos predictivos del COVID 19 sobre decesos

En la universidad del Atlántico, Colombia. Peralta Polo et al., (2020) realizaron una investigación comparativa acerca de dos enfoques matemáticos epidemiológicos para modelar el comportamiento de los decesos causados por el COVID 19 en el departamento del Atlántico-Colombia. En la investigación se centraron en dos modelados determinísticos que se enfocan en describir el comportamiento de la curvatura del número de fallecidos; los datos fueron presentados por el Instituto Nacional de Salud desde el primer día que surgió el primer deceso en el departamento. Se ayudaron de la herramienta MATLAB, a través de sus cálculos numéricos.

El primer modelo usado en este estudio es un enfoque deducido a partir de valores empíricos propuesto por Tappe de simple resolución pues se basa en el comportamiento exponencial de la curva del número de decesos (de fácil resolución y poca complejidad) el otro modelo propuesto es el SIRD, una extensión del modelo SIR, que divide la población entre susceptibles, infectados, muertos y recuperados. Al realizar las respectivas comparaciones de los diferentes enfoques se pudo apreciar que a pesar que su grafica de deceso es similar en ocasiones (ibíd.).

La formulación como un sistema de ecuaciones diferenciales del modelo SIRD es más completa, debido a que esta consiste en cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas dependientes del tiempo, que se utilizan para describir el comportamiento del número de susceptibles, infectados activos, recuperados y decesos; y que estas ecuaciones son parametrizadas por las tasas de infección, recuperación y mortalidad, lo que implica la calibración de más parámetros; en cambio

el modelo de Tappe, es una única ecuación con una única variable y dos parámetros que describe la curva de decesos a partir de medidas tomadas por los entes gubernamentales. Además, los modelos presentados fueron proyectados cada uno a 30 días después del último día en que se hace la aproximación, se observa que hay diferencias en los modelos pues en la curva de decesos del modelo SIRD presentaba crecimientos más rápidos que el modelo Tappe. Es claro que el Modelo SIRD presenta mejores resultados debido a su robustez, pues como ya se dijo se tendrían en cuenta distintos parámetros, un resultado importante que presentaba el modelo es que depende mucho la disminución de decesos gracias a las medidas de distanciamiento social y a la introducción de medidas más rigurosas de cuarentena.

La investigación concluye reflexionado que a lo reflejado en las cifras podría pensarse que para la proyección del número de muertos sólo bastaría implementar el modelo empírico de Tappe, cuya simplicidad matemática es notoria, evitando la complejidad de resolver sistemas de ecuaciones diferenciales. Pero cabe recordar que este modelo no incluye el comportamiento del resto de la población, comportamiento que influye en el desarrollo de la epidemia.

Técnicas de simulación relacionadas al COVID19.

El 01 de junio del 2021, fue publicado en la Revista Colombiana de Computación por Yony Fernando Ceballos vinculado a la Universidad de Antioquia, el artículo “Simulación en tiempos de pandemia” (2021). Dicho artículo destaca la importancia de tres técnicas de simulación durante tiempos de pandemia en Colombia, donde la aparición de nuevas tecnologías ha llevado a la aplicación de herramientas informáticas, dichas herramientas permiten llevar a cabo la simulación en ordenadores; orientadas a mejorar la calidad de vida de las personas y en la planeación de instituciones. Antes de aplicar un método de simulación, es importante analizar el tipo de problema a evaluar. Las tres técnicas de simulación son simulación de eventos discretos, que permite representar procesos de decisión a nivel operativo, simulación continua la cual es orientada a problemas de alto nivel de agregación, y, por último, la simulación basada en agentes la cual permite un modelado a diferentes niveles de abstracción. Cada una de estas técnicas son de gran ayuda en estos tiempos de pandemia.

La simulación de eventos discretos se ha centrado en evaluar la forma en la cual la distribución de personas en los entornos relacionados a sistemas de atención se distribuye y así evaluar las políticas de distribución, distanciamiento, y demás requisitos que el mismo servicio

requiera para así mejorar los servicios, de una forma eficiente y teniendo en cuenta los protocolos de seguridad. La simulación continua se orienta a situaciones de propagación del virus la forma en la cual se deben hacer los procesos de cierres y evaluar la efectividad de los mismos con la creación de políticas apropiadas para tal fin. La simulación basada en agentes tiene como objetivo modelar la forma en la cual cada persona como individuo heterogéneo reacciona en situaciones de pandemia.

En conclusión, todas estas técnicas mencionadas cuentan con ventajas para los tomadores de decisiones, ya que no involucra el contacto físico que se debe evitar y la información puede obtenerse mediante encuestas, entrevistas y datos históricos. Emplear dichas técnicas para analizar situaciones de pandemia, lograr incluir el tiempo como variable y anticiparse a situaciones que para los gobiernos suelen ser complejas, y que para las empresas pueden acarrear consecuencias nefastas.

Micro simulación basada en agentes de la propagación del virus.

El mismo día, se publicó en la revista EIA un artículo de investigación de un grupo de jóvenes que hacen parte de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín. El objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad de acciones tales como el distanciamiento social, disminución de eventos sociales, comerciales y de entretenimiento, entre otras para disminuir la tasa de contagios del COVID19. En esta investigación se estudiaron dos escenarios, el primero con acciones gubernamentales reales por parte de la alcaldía de Medellín y el segundo escenario sin tener en cuenta estas acciones.

La evaluación de efectividad de estas acciones se llevó a cabo con una microsimulación basada en agentes. Para configurar estas interacciones basada en agentes, se agrupó la población por edades y grupo de personas en el hogar, se utilizaron cuatro clústeres (hogar, escuela, trabajo y compras) y una actividad de transporte necesaria para pasar de un clúster a otro, en los que se generan las interacciones sociales.

Como conclusión, el modelo permite representar algunas interacciones personales entre las actividades sociales de cada individuo, con lo cual se corrobora que el nivel de contagio de la población está relacionado al nivel de actividad social de las personas. También, se demostró que las políticas de salud pública tempranas permiten aplanar la curva de contagio de la propagación

del virus en contraste con el escenario sin restricciones. Por último, resaltan que el uso de la micro simulación para generar modelos de propagación de enfermedades ha sido poco usual, siendo esta investigación la primera aproximación de este tipo para el COVID19 en el contexto colombiano y se propone hacer un modelo más robusto al incluir una mayor cantidad de variables y parámetros (Gómez Marín et al., 2021).

Simulación y modelización basada en agentes.

En su investigación Gómez et al., (2021). Propusieron en su trabajo académico un modelo basado en agentes, denominado INFEKTA, para simular la transmisión de enfermedades infecciosas, no solo teniendo en cuenta las características con las que cuenta el COVID-19, sino también bajo las políticas de distanciamiento social. INFEKTA combina la dinámica de transmisión de una enfermedad específica, (según parámetros encontrados en la literatura) con información demográfica (densidad de población, edad y género de individuos) de regiones geopolíticas del pueblo o ciudad real en estudio.

Los agentes (personas virtuales) pueden moverse, según sus rutinas de movilidad y la política de distanciamiento social impuesta, sobre una compleja red de lugares accesibles definidos sobre un espacio euclidiano que representa el pueblo o la ciudad. La dinámica de transmisión del COVID-19 bajo diferentes políticas de distanciamiento social en la ciudad de Bogotá, capital de Colombia, se simula utilizando INFEKTA con un millón de personas virtuales. Un análisis de sensibilidad del impacto de las políticas de distanciamiento social indica que es posible establecer una política de distanciamiento social 'media' (es decir, cerca del 40% de las plazas) para lograr una reducción significativa de la transmisión de la enfermedad.

Los resultados indican que INFEKTA puede ser un activo valioso para los investigadores y tomadores de decisiones de salud pública para explorar escenarios futuros al aplicar diferentes distanciamientos sociales. reglas de política y control de la expansión de una enfermedad infecciosa, advierten además que su investigación se queda un poco corta en el sentido de su tamaño de muestra que tomaron, una aproximación mejor podría ser tomando toda la población y observar sus resultados.

Libros relacionados con la simulación de procesos y modelado basado en agentes

Netlogo una herramienta de modelado (García Vásquez & Sancho Caparrini, 2016)

Es un libro escrito por Juan Carlos Garcia Vazquez y Fernando Sanchez Caparrini cuyo objetivo es resaltar la importancia de Netlogo y al mismo brinda un manual con ejercicios para que el autor a medida que avance teóricamente coloque en práctica dichos conocimientos. Inicia desde la descripción del software y describe cada una de las muchas herramientas y usos que posee Netlogo.

Introducción al modelado basado en agentes (Aguilera Ontiveros & Posada Calvo, 2018).

Es un libro más práctico que el anterior, hace hincapié en la aplicación de la modelación basada en agentes (MBA) mediante el uso de Netlogo, ya que no es el único entorno de simulación, como tal el objetivo del libro es dar a conocer la MBA desde un inicio con sus características que la hacen especial a los otros métodos de simulación hasta hacer aplicado en los diversos sistemas vivos como sociales y naturales. Es un libro que debe ser tenido en cuenta a la hora de usar MBA, debido a que hace énfasis en un protocolo que se está implementando y es de suma importancia antes de modelar.

4.2 JUSTIFICACIÓN

La implementación de un (MBA) es un novedoso apartado para investigar sistemas adaptativos complejos. Modelar la interacción entre múltiples agentes en este caso médicos, enfermeros, pacientes etc. que conducen a comportamientos emergentes y evaluaciones de posibles mejoras para diferentes aspectos de la calidad hospitalaria (tiempo, logística, recursos, etc.).

Como tal, este enfoque representa una técnica de modelaje factible para estudiar la complejidad inherente en el sistema hospitalario de Algeciras uno de los proyectos de construcción al gastar recursos informáticos en lugar de recursos reales, que pueden ser más rentables y la calidad es un factor fundamental en los servicios de salud, más aún en el servicio de emergencia, donde la vida del paciente está en riesgo. La medición y mejora de tiempos de espera para la atención constituyen un pilar fundamental, no solo para mejorar la percepción del paciente o familiar, sino para implementar acciones.

CAPÍTULO 5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1 MARCO TEÓRICO

La dispersión del virus COVID19 no puede ser denotado, y visto de manera simplemente numérica, estadística o incluso curricular, no puede ser percibido entonces como un medido tangible del producto de un manufacturado. Visto desde la Teoría General de Sistemas implicaría asumirla como un objeto sinérgico, por ende, sus partes no puede ser reducidas de ninguna de sus partes implicadas, ni tampoco considerársele como la sumatoria de sus partes. La salud de un individuo, de un grupo, de una comunidad o de una población es un resultado de la compleja interacción de factores a tres niveles de determinación. El primero de ellos es el macro estructural, que incluye elementos de naturaleza ecológica representados por el ecosistema en su concepción más amplia, de naturaleza cultural, que abarca aspectos relacionados con las pautas culturales en las diversas áreas geográficas del planeta.

El siguiente nivel de determinación es el Microestructural, que contempla el entorno más cercano al individuo y el que media entre lo cultural en general y el sujeto. En él se han identificado elementos tales como demográficos, sociales, médicos y administrativos.

La presencia, calidad y facilidad de acceso a instituciones educacionales, de salud, cultural, deportivo, de cultura física en las comunidades, son aspectos de vital importancia para la salud de sus miembros. También la cantidad y calidad del transporte y el acceso a una alimentación adecuada, así como el clima laboral y familiar.

El tercer nivel de determinación implicado es el individual que incluye tanto el componente biológico como el psicológico del sujeto. En éste, va a jugar un rol decisivo, la regulación personalógica del individuo sobre las instancias biológica, macro y micro-estructurales. El resultado de dicha regulación podrá constatarse en el Estilo de Vida, cuando se refiera a un solo individuo y en el Modo de Vida, como expresión de las regularidades de los Estilos de Vida de los individuos pertenecientes a un grupo, comunidad o población.

Ninguno de esos niveles de determinación por sí solos propicia salud, sólo la compleja interrelación entre ellos, un país con un alto producto interno bruto no va a condicionar mecánicamente salud en sus pobladores, como tampoco un sujeto con adecuada regulación personalógica, que carezca de los recursos necesarios, tampoco la conseguirá.

El servicio de atención médica no puede ser percibido, identificado o medido tangiblemente como un producto manufacturado. Este tipo de producción presenta mecanismos de control que permiten medidas cuantitativas frente a los resultados de producción, que pueden ser muestreados y probados para identificar la calidad del producto a lo largo de la cadena de producción, permitiendo ajustar si se requiere en etapas anteriores para la obtención de un producto con las mejores condiciones frente a las expectativas de sus productores y clientes finales.

5.1.1 Sistemas complejos

5.1.1.1 ¿Qué es un sistema complejo?

Para comprender que es un sistema complejo, debemos partir conociendo el significado que posee la palabra “complejo” según autores que se destacan en este campo. La palabra complejo no solo deriva del significado que le han atribuido algunos académicos, sino de su popularidad, incluso en sectores académicos muy destacados y en la comunicación cotidiana, como sinónimo de “complicado”. Edgar Morin uno de los filósofos más destacados de la actualidad se refiere a la complejidad con los siguientes términos:

“La complejidad se impone de entrada como imposibilidad de simplificar; ella surge allí donde la unidad compleja produce sus emergencias, allí donde se pierden las distinciones y claridades en las identidades y causalidades, allí donde los desórdenes y las incertidumbres perturban los fenómenos, allí donde el sujeto-observador sorprende su propio rostro en el objeto de observación, allí donde las antinomias hacen divagar el curso del razonamiento...” (En García, 2006, p. 19)

En otras palabras, Morin afirma que la complejidad emerge como obscurecimiento, desorden, incertidumbre y antinomia, esto mismo, que ha provocado la ruina de la física clásica, construye la complejidad de la physis nueva. Pero las afirmaciones de Morin son calificadas por García como una posición oscurantista y no se justifican frente al desarrollo histórico de la ciencia, ya que ni la física de Newton está en ruina pues que se siga aplicando y divulgando, la física nueva suponiendo que se refiera a la relatividad y mecánica cuántica no emergió como obscurecimiento y desorden.

García considera que “en el mundo real”, las situaciones y los procesos no se presentan de manera que puedan ser calificados por su correspondencia con alguna disciplina en particular, es ese sentido, podemos hablar de una realidad compleja.

“Es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de sistema), en la cual los elementos no son “separables” y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente” (García, 2006)

Más adelante, en la sección de definibilidad de sistema complejo, García da a entender que una definición adecuada de un sistema complejo solo puede surgir en el transcurso de la propia investigación y para cada caso particular. De acuerdo a lo anterior, no hay una definición generalizada de los sistemas complejos, cada uno en particular tiene su propia definición a medida que sea abarcado en conjunto por un grupo de investigación.

Podemos decir que un sistema complejo es un sistema de partes que se conectan como un conjunto teniendo propiedades y comportamientos no evidentes partiendo de la suma de cada fragmento. El desarrollo de la dinámica está lleno de complejidades.

Las dinámicas del desarrollo son llenos de complejidades. Las características de los sistemas complejos (como la interdependencia, la diversidad y la adaptabilidad de los agentes, etc.), desafían los supuestos básicos de las teorías tradicionales (tales como agentes independientes (i.i.d.) o patrones fijos de crecimiento, etc.).

5.1.1.2 Características de los sistemas complejos.

Los sistemas complejos se caracterizan fundamentalmente porque su comportamiento es imprevisible. Sin embargo, **complejidad no es sinónimo de complicación**: este último hace referencia a algo enmarañado, enredado, de difícil comprensión. En realidad, y por el momento, *no existe una definición precisa y absolutamente aceptada de lo que es un sistema complejo*, pero pueden darse algunas peculiaridades comunes que hacen frente a los supuestos básicos de las teorías tradicionales:

- Interacción

A través de reglas simples, los agentes que componen un sistema complejo interactúan dando lugar a “eventos emergentes”. Todas las partes del sistema complejo se afectan mutuamente a pesar de no tener relación directa. No importan cuáles son los objetos que componen el sistema complejo, sino las relaciones que se generan.

- Auto organización

La interacción entre los agentes también genera una nueva forma de organización. Esta organización se genera por iniciativa propia de los agentes, quienes generan patrones de comportamiento global a partir de las interacciones. La auto organización no solo surge a partir de la interacción de las partes constituyentes, sino también de estas con el entorno.

- Adaptación

Al constituirse con un sistema complejo organizado por voluntad propia, también se ejecuta un proceso de adaptación a este nuevo método de organización entre las partes. Los agentes se adecúan a un nuevo ecosistema y también este ecosistema se adecúa a la sinergia generada por los propios agentes.

- Retroalimentación

Un sistema complejo no tiene causas únicas ni lineales. Son los propios agentes los que convergen y se retroalimentan constantemente. Dentro de un sistema complejo, existe una íntima conexión entre los agentes y los sucesos que los convierte a la vez causa y efecto. Las partes del sistema contienen al todo.

- Evolución

La dinámica a la que está sometido un sistema complejo y a la alta interacción de los agentes genera constante evolución en los procesos y el entorno. Por tanto, un sistema complejo tiene cierto grado de predictibilidad debido a su constante interacción, retroalimentación y generación de nuevos comportamientos que determinan una evolución.

5.1.1.3 Tipos de sistemas complejos

Los diferentes sistemas pueden clasificarse de acuerdo con los diferentes criterios que cada uno pueda tener, estos son algunos de los sistemas más importantes teniendo en cuenta que no son los únicos.

Sistemas abiertos. Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad (entropía negativa, teleología, morfogénesis, equifinalidad).

Sistemas cerrados. Un sistema es cerrado cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno sale fuera del sistema. Estos alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio (entropía, equilibrio). En ocasiones el término sistema cerrado es también aplicado a sistemas que se comportan de una manera fija, rítmica o sin variaciones, como sería el caso de los circuitos cerrados.

Sistemas cibernéticos. Son aquellos que disponen de dispositivos internos de autocomando (autorregulación) que reaccionan ante informaciones de cambios en el ambiente, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema (retroalimentación, homeorrosis).

Además de estos podemos encontrar diferentes sistemas de acuerdo a su clasificación ya sean tipo ambiental, de constitución, de origen, de movimiento, entre otros.

5.1.1.4 Ejemplos de sistemas complejos

En la naturaleza tienen la posibilidad de descubrir una enorme proporción de ejemplos de sistemas complicados que se prolongan a partir de la física hasta la neurología, a partir de la economía hasta la biología molecular, a partir de la sociología hasta las matemáticas. Por esa razón, esta clase de sistemas no constituye un caso raro ni excepcional, sino que se declara en la inmensa mayor parte de los fenómenos que se observan a diario. No obstante, y pese a su enorme variedad y copiosidad, tienen la posibilidad de detectar conductas dinámicas genéricas, no importa su naturaleza (física, química, biológica o social); entre ellas, las leyes de incremento, la autoorganización y los procesos colectivos emergentes. Como ejemplos de sistemas complicados tienen la posibilidad de nombrar -entre otros- una célula, un cerebro, un organismo, una PC, un ecosistema, una sociedad de insectos, un sistema inmunológico o una economía de mercado.

La mayor parte de los sistemas complicados son inestables, se mantienen suavemente equilibrados. Cualquier alteración mínima entre sus recursos elementos puede cambiar, de manera inesperado, las relaciones y, por consiguiente, la conducta de todo el sistema. De esta forma, la evolución de esta clase de sistemas se caracteriza por la fluctuación, situación en la que el orden y el desorden se alternan una y otra vez. Sus estados evolutivos no transcurren por medio de procesos seguidos y graduales, sino que suceden mediante reorganizaciones y saltos. Cada nuevo estado es únicamente una transición, un lapso de "reposo entrópico", en palabras del Premio Nobel ruso-belga Ilya Prigogine (En Moriello, 2004).

Estos sistemas nunca llegan a un óptimo global, al estado de mínima energía. En general, crecen progresivamente hasta que llegan al límite de su desarrollo potencial. En ese instante, sufren un desorden, una especie de ruptura que induce una fragmentación del orden pre-existente. Pero después, comienzan a surgir regularidades que organizan al sistema de acuerdo con nuevas leyes, produciendo otra clase de desarrollo. Este comportamiento es típico en los sistemas naturales: por ejemplo, el tránsito, en los insectos, del huevo a la larva y de ésta a la crisálida. En consecuencia, la organización de los sistemas complejos se da en diferentes niveles. Las leyes que gobiernan la causalidad de un dado nivel, pueden ser totalmente diferentes a las de un nivel superior.

5.1.2 Sistemas Complejos Adaptativos (SCA)

Los sistemas complejos adaptativos (SCA) son considerados como sistemas compuestos por agentes interactuantes descritos en términos de reglas, se adaptan según sus experiencias acumuladas. Todos los sistemas independientemente de lo distintos que sean, hay una manera de tratarlos y con una teoría matemática común que se pueden aplicar a todos, que son sistema de ejecución, asignación de crédito y descubrimiento de reglas. Existe un ejemplo sobre este tema de las enfermedades y su recuperación llamado “lever point” que es la vacuna, con esto se puede crear un efecto considerable y controlado.

Hay que tener en cuenta que si estos sistemas complejos adaptativos se conocieran más a fondo y se tuviera un mayor control se podrían conocer los puntos críticos y se podrían desarrollar mas soluciones a estas situaciones. De acuerdo con esta información, se puede decir que una característica es que estos sistemas nunca son estables, no tienen un equilibrio, siempre están produciendo nuevos elementos a esto se le llaman flujos, nuevos mecanismos, es decir, siempre están en movimiento, cuando un sistema de estos se estabiliza y llega a su equilibrio, se dice que muere.

Los SCA posee siete componentes básicos, cuatro propiedades y tres mecanismos que son comunes en todos estos, no son los únicos componentes, todas las demás características pueden derivarse a partir de una combinación apropiada de los básicos ya mencionados. Los componentes básicos son los siguientes:

A) La agregación (Propiedad)

Se refiere a una manera estándar de simplificar los sistemas complejos: agregamos cosas similares en categorías y después lo tratamos como equivalentes. Es uno de los principales métodos para para construir modelos ya que nosotros decidimos que detalles son irrelevantes para los objetivos que nos interesan y procedemos a ignorarlos. Esto ocurre muy parecido al trabajo del caricaturista, donde el modelador es este y debe decidir que rasgos son convenientes exagerar y que rasgos se deben pasar por alto para enfatizar la intención o el mensaje político.

B) Marbeteado o etiquetado (Mecanismo)

Es el mecanismo que facilita la formación de agregados. Un ejemplo más general, la bandera que se utiliza o convoca a un grupo de personas que comparten la misma ideología política, otro ejemplo más moderno, es el logo que encabeza un mensaje en el que se convoca a miembros dispersos de un equipo de trabajo. Son rasgos importantes ya que facilitan la interacción selectiva y permiten a los agentes seleccionar a otros agentes u objetos, que de otra manera serian indistinguibles. En conclusión, son los mecanismos que se encuentran detrás de la organización jerárquica (el agente, el metagente, el meta-meta-agente...), organización común de los SCA.

C) No-linealidad (Propiedad)

La mayoría de herramientas que utiliza la matemática, desde la aritmética simple hasta el cálculo diferencial se basan en el principio de la linealidad. Todas las ramas de la matemática buscan encontrar funciones lineales que sean aproximaciones razonables cuando la linealidad no puede ser establecida de manera directa, nada de esto funciona. Intentar estudiar un SCA con técnicas lineales lo comparan como jugar ajedrez compilando estadísticas sobre la manera en que se mueven las piezas en el tablero. La más simple de las interacciones no-lineales, ocurre entre una población de depredadores y sus presas, la interacción total depredador-presa no puede ser obtenida por la simple suma de las actividades de los depredadores y de las actividades de las presas, hasta en las situaciones más simples la no-linealidad puede interferir con el enfoque lineal de los agregados. Podemos decir finalmente que, las interacciones no-lineales casi siempre provocan que el comportamiento de un agregado sea más complicado de lo que se ha previsto por medio de la linealidad (sumatorias o premediaciones).

D) Flujos (Propiedad)

En la vida diaria todo el mundo habla del flujo de mercancía dentro de una ciudad o del flujo de capitales entre los países. Los flujos son llevados a cabo a través de redes de nodos y conectores. Siguiendo el contexto anterior, los nodos pueden ser fábricas, y los conectores las rutas de transporte para el flujo de mercancía entre las fábricas. En términos de los SCA, los nodos (agentes) son los procesadores, mientras que los conectores son los que determinan las posibles interacciones entre los agentes. Los flujos varían con el paso del tiempo, además, los nodos y conectores pueden aparecer o desaparecer dependiendo si los agentes tienen éxito en adaptarse o no. Por lo tanto, ni los flujos ni las redes permanecen inmutables a través del tiempo ya que son patrones que reflejan los cambios provocados por el proceso de adaptación con el pasar del tiempo y la acumulación de experiencias.

E) Diversidad (propiedad)

La ciudad de Bogotá contiene miles de distintas clases de comerciantes al mayoreo y al menudeo, lo mismo podríamos decir de otros SCA. Esta diversidad no es ni accidental ni aleatoria. Cada agente ocupa un nicho, el cual es definido por las interacciones que se enfoquen en el agente, si se remueve una clase de agente del sistema (creando un hueco), el sistema responderá con una serie de acciones de adaptación y el resultado será la creación de otros agentes (que llenaran el hueco) que proporcionara al sistema las interrelaciones faltantes. Esto es similar a lo ocurre en la biología con el fenómeno llamado convergencia, por ejemplo, los ictiosauros de los mares triásicos llenaban prácticamente el mismo nicho que las marsopas de los mares modernos, aunque estas dos especies no están emparentadas, tenían formas y hábitos parecidos a los de estas. En un SCA un patrón de interacciones perturbado por la extinción de algunos agentes con frecuencia se regenera a si mismo por la aparición de nuevos agentes, que pueden ser diferentes de los agentes extintos.

F) Modelos internos (Mecanismo)

Las aves insectívoras han aprendido que las mariposas con cierto patrón de colores en las alas tienen un sabor diferente, ¿Cómo aprendieron? Es la habilidad de anteponerse. El mecanismo de anticipación se le denomina modelo interno, existen dos clases de modelos internos, tácitos y manifiestos. El tácito, simplemente describe una acción actual motivada por la predicción implícita de algún estado futuro deseado. Un modelo interno manifiesta se utiliza como una base para las exploraciones explícitas, pero internas, de alternativas.

G) Bloques de construcción. (Mecanismo)

La capacidad para descomponer en partes una escena compleja, es una de las capacidades que tenemos los seres humanos. Cuando se hace esto, podemos reagrupar las partes componentes en una gran variedad de combinaciones como un juguete armable o didáctico de niños. Los seres humanos analizamos una escena compleja buscando elementos reutilizables que ya han sido probados por la selección natural y el aprendizaje. La palabra reutilizable implica repetición, es por medio de esta que ganamos experiencia a través del uso repetido de bloques de construcción, cuando encuentro una situación nueva, lo que hago es combinar los bloques más relevantes y probados para modelar la situación, de manera que sugiera acciones adecuadas y sus posibles consecuencias. El uso de bloques de construcción para generar modelos internos es una característica de los SCA, cuando hablamos de un modelo tácito, el proceso de descubrimiento y combinación de los bloques de construcción generalmente está sujeto a una escala de tiempo determinada por la evolución; cuando es manifiesto, la escala de tiempo puede ser una magnitud menor.

5.1.3 Simulación de sistemas

Dinámica de Sistemas. Dinámica de sistemas Forrester (1998), Explica que:

“La dinámica de sistemas usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. Un ordenador ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo.” (En Lacasta, 2013)

El modelo de dinámica de sistemas es una metodología que busca el estudio y posterior manejo de un sistema complejo el cual permite interactuar y entregar una solución práctica. Su diferencia con otras metodologías se fundamenta en la retroalimentación del sistema puesto que permite visualizar las causas de una acción (Busto-Mugica, 1998).

Es una metodología que involucra el análisis y la síntesis además que representa la relaciones que se dan dentro de un sistema y explica el comportamiento (Aracil & Gordillo, 1997).

Los sistemas dinámicos a lo largo del tiempo varían debido a que son modelos matemáticos que necesitan constante movimiento. Estas variaciones se simulan mediante algoritmos de resolución matemáticos basados en tiempo o en acontecimientos.

Historia.

La ampliación del campo donde se utiliza la dinámica de sistemas ha sido progresiva y se ha ampliado de manera importante a diferentes áreas de estudios. Los trabajos iniciales se dan en los 50 y 60 implementándolo en áreas profesionales (Forrester, 1986).

Después de implementarlo en el área industrial pasa al plano de sistemas urbano denominado “Dinámica urbana” (Forrester 1986) Se busca entregar una herramienta adicional para planificación urbana mostrando las interacciones socio-económicas del área estudiada (Hamilton 1969).

A partir del estudio realizado al Club de Roma donde se evaluaban distintas variables y se medía el crecimiento teniendo una gran trascendencia y encontrándose varias de las conclusiones aún 37 vigentes a través del tiempo; se determina que el alcance de la metodología se puede aplicar a diversos campos por lo que se le denomina Dinámica de Sistemas (Arcil, 1995) .

Actualmente se ha aplicado en distintos sectores y ha tomado un mayor grado de aceptación y atención como metodología de estudio, constituyéndose como una herramienta solida (Arcil 1995).

5.2 MARCO LEGAL

Adicional a los principios fundamentales establecidos en la constitución política de Colombia en 1991, que hace referencia a las obligaciones que tiene el estado de velar por los derechos de los colombianos; se han contemplado los siguientes artículos, resoluciones, leyes y decretos, cuyos artículos están constatados en la constitución y demás, que con el pasar del tiempo se han implementado, normas que cobijan al proyecto en el marco legal.

- **Artículo 44.** Se establece los derechos fundamentales de los niños como son el derecho a la vida, integridad física, la salud y la seguridad social, entre otros. Aparte de la familia, cualquier persona puede exigir el cumplimiento de estos derechos y la sanción de los infractores. Los derechos de los niños prevalecen por encima de los demás.
- **Artículo 46.** Es obligación del estado, la sociedad y la familia, la protección integral y física de las personas de la tercera edad, además, se debe promover su integración a la vida activa y comunitaria. En caso de indigencia, el estado está en la obligación de garantizar los servicios de seguridad social integral y de un subsidio alimentario.

- **Artículo 48.** El derecho a la Seguridad Social es un servicio público de carácter obligatorio. Se garantiza a todos los habitantes el derecho irrenunciable a la Seguridad Social. Colombia, como Estado, con la participación de los particulares, ampliara progresivamente la cobertura de la Seguridad Social. La Seguridad Social podrá ser prestada por entidades públicas o privadas, de conformidad con la ley.
- **Artículo 49.** La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud. Al Estado le corresponde organizar, dirigir y reglamentar la prestación de servicios de salud a los habitantes y de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad. Los servicios de salud se organizarán en forma descentralizada, por niveles de atención y con participación de la comunidad. Toda persona tiene el deber de procurar el cuidado integral de su salud y la de su comunidad.
- **Artículo 50.** Todo niño menor de un año que no esté cubierto por algún tipo de protección o de seguridad social, tendrá derecho a recibir atención gratuita en todas las instituciones de salud que reciban aportes del Estado.

Decreto 412 de 1992. Por el cual se reglamenta parcialmente los servicios de urgencias y se dictan otras disposiciones. **Artículo 2.** La obligatoriedad de la atención inicial de las urgencias. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 2o. de la Ley 10 de 1990, todas las instituciones que ofrezcan servicios de salud testan obligadas a prestar atención inicial de urgencia independientemente de la capacidad socioeconómica de los solicitantes de este servicio. **Artículo 4.** Las responsabilidades de las entidades de salud con respecto a la atención inicial de urgencia. Las responsabilidades institucionales derivadas de la prestación de atención inicial de urgencia estarán enmarcadas por los servicios que se presten, acorde con el nivel de atención y grado de complejidad que a cada entidad le determine el Ministerio de salud (Ministerio de Salud Pública, 1992).

Ley 100 de 1993. Artículo 168. Atención Inicial de Urgencias. La atención inicial de urgencias debe ser prestada en forma obligatoria por todas las entidades públicas y privadas que presten servicios de salud, a todas las personas independientemente de la capacidad de pago. Su prestación no requiere contrato ni orden previa. El costo de estos servicios será pagado por el Fondo

de Solidaridad y Garantía, en los casos previstos en el artículo anterior, o por la entidad promotora de salud al cual este afiliado en cualquier otro evento (Congreso de la República de Colombia, 1993).

Decreto 783 de 2000. Por el cual se modifican los decretos 1486 de 1994, 1992 de 1994, 723 de 1997 y 046 y 047 de 2000 y se dictan otras disposiciones. **Artículo 12.** En el cual se modifica el artículo 10 del decreto 047 del año 2000. Respecto a la atención inicial de urgencias. En concordancia con lo establecido en el artículo 41 del Decreto 1406 de 1999, durante los primeros treinta días a partir de la afiliación del trabajador dependiente se cubrirá únicamente la atención inicial de urgencias, es decir, todas aquellas acciones realizadas a una persona con patología de urgencia consistentes en: Las actividades, procedimientos e intervenciones necesarios para la estabilización de sus signos vitales; La realización de un diagnóstico de impresión; La definición del destino inmediato de la persona con la patología de urgencia (Ministerio de Salud, 2000).

Resolución 5596 de 2015. Por la cual se definen los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage". **Artículo 6.** Responsabilidades de la Institución Prestadora de Servicios de Salud. Además de las responsabilidades señaladas en las normas vigentes, las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, en el marco de lo establecido en la presente resolución (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015)

Ley Estatutaria de salud 1751 de 2015. Consagra la salud como un derecho fundamental autónomo, garantiza su prestación, lo regula y establece sus mecanismos de protección.

5.3 MARCO REFERENCIAL

Urgencia. Es la alteración de la integridad física y/o mental de una persona, causada por un trauma o por una enfermedad de cualquier etiología que genere una demanda de atención médica inmediata y efectiva tendiente a disminuir los riesgos de invalidez y muerte.

Servicio de Urgencias. Es la unidad que en forma independiente o dentro de una entidad que preste servicios de salud, cuenta con los recursos adecuados tanto humanos como físicos y de dotación que permitan la atención de personas con patología de urgencia, acorde con el nivel de atención y grado de complejidad previamente definidos por el Ministerio de Salud para esa unidad.

Atención de Urgencias. Es el conjunto de acciones realizadas por un equipo de salud debidamente capacitado y con los recursos materiales necesarios para satisfacer la demanda de atención generada por las urgencias.

Red de Urgencias. Es un conjunto articulado de unidades prestatarias de atención de urgencias, según niveles de atención y grados de complejidad, ubicado cada uno en un espacio poblacional concreto, con capacidad de resolución para la atención de las personas con patologías de urgencia, apoyado en normas operativas, técnicas y administrativas expedidas por el Ministerio de Salud.

Triage. El triage en los servicios de urgencia es un Sistema de Selección y Clasificación de pacientes, basado en sus necesidades terapéuticas y los recursos disponibles que consiste en una valoración clínica breve que determina la prioridad en que un paciente será atendido. El "Triage", como proceso dinámico que es, cambia tan rápidamente como lo puede hacer el estado clínico del paciente.

Categorías del Triage. Para determinar la prioridad de la atención de los pacientes en un servicio de urgencias se tendrá en cuenta la siguiente categorización, organizada de mayor a menor riesgo:

Tabla 1. Categorías del triage

Categoría	Descripción
I	Requiere atención inmediata. La condición clínica del paciente representa un riesgo vital y necesita maniobras de reanimación por su compromiso ventilatorio, respiratorio, hemodinámico o neurológico, pérdida de miembro u órgano u otras condiciones que por norma exijan atención inmediata.
II	La condición clínica del paciente puede evolucionar hacia un rápido deterioro o a su muerte, o incrementar el riesgo para la pérdida de un miembro u órgano, por lo tanto, requiere una atención que no debe superar los treinta (30) minutos. La presencia de un dolor extremo de acuerdo con el sistema de clasificación usado debe ser considerada como un criterio dentro de esta categoría.
III	La condición clínica del paciente requiere de medidas diagnósticas y terapéuticas en urgencias. Son aquellos pacientes que necesitan un examen complementario o un tratamiento rápido, dado que se encuentran estables desde el punto de vista fisiológico, aunque su situación puede empeorar si no se actúa
IV	El paciente presenta condiciones médicas que no comprometen su estado general, ni representan un riesgo evidente para la vida o pérdida de miembro u órgano. No obstante, existen riesgos de complicación o secuelas de la enfermedad o lesión si no recibe la atención correspondiente

V	El paciente presenta una condición clínica relacionada con problema agudos o crónicos sin evidencia de deterioro que comprometa el estado general de paciente y no representa un riesgo evidente para la vida o la funcionalidad de miembro u órgano.
----------	---

Adaptado de: Artículo 5 Resolución 5596 de 2015.

Objetivos del Triage. Los objetivos del triage son:

-Asegurar una valoración rápida y ordenada de todos los pacientes que llegan a los servicios de urgencias, identificando a aquellos que requieren atención inmediata.

-Seleccionar y clasificar los pacientes para su atención según su prioridad clínica y los recursos disponibles en la institución.

- Disminuir el riesgo de muerte, complicaciones o discapacidad de los pacientes que acuden a los servicios de urgencia. -Brindar una comunicación inicial con información completa que lleve al paciente y a su familia a entender en qué consiste su clasificación de Triage, los tiempos de atención o de espera que se proponen y así disminuir su ansiedad.

Integralidad. Es la cobertura de todas las contingencias que afectan la salud, la capacidad económica y en general las condiciones de vida de toda la población. Para este efecto cada quien contribuirá según su capacidad y recibirá lo necesario para atender sus contingencias amparadas por esta Ley.

Eficiencia. Es la mejor utilización social y económica de los recursos administrativos, técnicos y financieros disponibles para que los beneficios a que da derecho la seguridad social sean prestados en forma adecuada, oportuna y suficiente.

Priorización. Anteriorizarse o dar precedencia de algo respecto de otra cosa que depende o procede de ello.

Seguimiento. Es la observación minuciosa de la evolución y desarrollo de un proceso.

Vigilancia y Control. La Superintendencia Nacional de Salud y las Direcciones Departamentales y Distritales de Salud, verificarán el cumplimiento de lo dispuesto en la presente resolución, en el marco de sus competencias.

5.4 MARCO INSTITUCIONAL

La Empresa Social del Estado Hospital Municipal de Algeciras, es un hospital de primer nivel de complejidad que presta servicios de salud con atención medica mediante un modelo de

salud con enfoque familiar en el municipio de Algeciras Huila, constituyéndose como una de las mejores entidades públicas descentralizada al orden municipal, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa y financiera.

E.S.E Hospital Municipal de Algeciras tiene como misión satisfacer las necesidades en salud de sus usuarios mediante los servicios del primer nivel de atención en salud, con calidad humana y tecnológica, eficiencia y eficacia. Además, tiene como visión liderar en la región centro oriente del Huila, en la prestación de los servicios de salud del primer nivel de atención con calidad, eficiencia y eficacia, y con la participación social proporcionara la mejor respuesta a las necesidades en salud de sus usuarios.

Para brindar sus servicios y hacer el cubrimiento en toda la zona de influencia, que es igual a la totalidad del territorio del Municipio de Algeciras, de 672 Kilómetros cuadrados y con 22.481 habitantes según población censo DANE 2018, de los cuales 11.465 son de género masculino con un 51.2% y 11.016 pertenecientes al género femenino para un porcentaje de 48.8%. La mayor población se concentra en el área urbana con 14.264 habitantes para un 63.54% y una población rural de 8.216 para un porcentaje del 36.46%, donde son usuarios de la ESE Hospital municipal de Algeciras, con una única sede en la cabecera municipal en la cual funciona como centro operativo y administrativo de la Institución. El servicio de urgencias es atendido en un horario continuo las 24 horas todos los días de la semana.

Figura 1. Mapa del municipio de Algeciras, Huila.



Fuente: Pagina web Gobernación del Huila

La ESE Hospital Municipal de Algeciras, cuenta con un talento humano capacitado y entrenado con gran compromiso humano, ético y profesional. En el área de urgencias observación, hospitalización y sala de parto contamos con:

Tabla 2. Personal adscrito a los subprocesos de la sección de Urgencias, Hospitalización y Sala de Partos de la ESE Hospital municipal de Algeciras

URGENCIAS OBSERVACION, HOSPITALIZACION Y SALA DE PARTOS					
No.	Proceso	Subproceso	Perfil profesión	Cantidad	Horas Mes
1.	URGENCIAS HOSPITALIZACION Y SALA DE PARTOS	Medicina	Médico general	1	720
		Enfermería	Jefe de enfermería	1	550
			Enfermera triage.	1	720
			Auxiliares enfermería	10	3600
		Farmacia	Regente de farmacia	1	192
			Auxiliares de farmacia	2	1368
		Laboratorio	Bacterióloga	1	720
			Auxiliar de laboratorio	1	192
		RX	Tecnólogo de RX	1	192

Fuente: Portafolio de Servicios ESE Hospital Municipal de Algeciras.

Cuenta de igual forma con la infraestructura adecuada para ofrecer el servicio de urgencia.

Tabla 3. Cantidad de infraestructura adecuada para el servicio de Urgencias

NOMBRE DE INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD
Consultorio triage	1
Consultorios	1
Sala de reanimación	1
Sala de procedimientos	1
Sala era	1

Fuente: Portafolio de Servicios ESE Hospital Municipal de Algeciras.

CAPÍTULO 6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 OBJETIVO GENERAL

Simular mediante modelación basada en agentes diferentes escenarios posibles ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus en el municipio de Algeciras en el segundo periodo del año 2021.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Replicar el modelo aplicado al caso argentino y proponer un modelo conceptual que reúna, estructure y facilite el estudio de la conducta del virus COVID19 para el entendimiento de los distintos aspectos que se deben considerar, para la construcción de un Modelo Basado en Agentes (Caso Algeciras) aplicado al municipio de Algeciras
- Evaluar el desempeño del modelo en el caso de estudio para que pueda ser posible su reproducción en otros municipios demográficamente similares de Colombia a partir de métricas del comportamiento complejo.
- Evaluar el potencial del modelo para la toma de decisiones que faciliten la identificación de las guías, actividades y estrategias para reducir y prevenir la transmisión local del COVID19

CAPÍTULO 7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo mixta (cualitativa y cuantitativa) porque implica recolección, análisis e integración de los datos cualitativos y cuantitativos, lo anterior, es debido al tipo de variables tanto de entrada como de salida del sistema real. Es cualitativa, debido a la forma de dispersión que puede tomar el virus en la determinada zona. Es cuantitativa, por los tiempos, parámetros demográficos, contagiados, decesos, lo anterior están dados por un valor numérico entero.

Como método cualitativo se usa el diseño de Investigación – Acción ya que se pretende mejorar una práctica y como método cuantitativo, se llevará a cabo un diseño experimental de tipo pre experimental.

Los alcances de la investigación son de tipo exploratorio, descriptivo y explicativo. Exploratorio, se indaga desde una perspectiva innovadora (MAB); descriptivo, se considera al fenómeno estudiado y sus componentes, buscando responder como es y cómo se manifiesta el comportamiento del COVID 19; y explicativo, se determina las causas que generaran el fenómeno

7.2 UNIVERSO DE ESTUDIO, POBLACIÓN Y MUESTRA

El universo de estudio está conformado por los 24.611 habitantes (DANE, 2018) que habitan en el municipio de Algeciras, entre el casco urbano y rural, donde aproximadamente el 36% de la población total, hace uso de este servicio público por año, es decir, la muestra que se tomara son las personas que acceden con éxito al servicio, esto es, sin tener en cuenta los que desertan durante el procedimiento.

7.3 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

FASE 1: REVISION DOCUMENTAL

Búsqueda de documentos tales como artículos, monografías y libros extraídos de bases de datos tales como son Jpro, Science Direct, Scopus y SciElo referentes al problema de investigación, antecedentes, marco teórico y fundamentos metodológicos. Estos documentos fueron seleccionados en un periodo comprendido no mayor a 10 años de haber sido publicados.

FASE 2: DISEÑO DE INSTRUMENTOS

En esta fase se diseña la guía y el protocolo para la aplicación de entrevistas. Estas entrevistas son de tipo semi estructurada, cabe destacar que estas entrevistas tienen el objetivo de conocer la capacidad de la planta física del hospital y opiniones respecto al comportamiento del virus, esta entrevista fue dirigida a los jefes de enfermería.

FASE 3: ABSTRACCION Y MODELO NO FORMAL

La abstracción se realiza a cargo de la persona que tiene un conocimiento experto del sistema real mediante un mutuo acuerdo entre el gerente de la entidad y el grupo de investigación. Este mutuo acuerdo se hizo con el fin de tener acceso a la base de datos e información del portafolio de servicios del sistema de urgencias. Cabe resaltar que el uso de estos datos es exclusivamente de carácter investigativo guardando las políticas de confidencialidad. Por otro lado, se obtiene un diagrama de bloques del funcionamiento del sistema, esto es conocido como un modelo no formal, este diagrama es abstraído del portafolio de servicios y está definido en un lenguaje natural.

Para el proceso de abstracción se definió el protocolo estándar ODD (Overview, Design concepts, and Details) que consiste en describir modelos basados en agentes y realimentar las ideas y conceptos.

Descripción general del protocolo.

1. Propósito.

Describir el comportamiento del virus COVID19 para el entendimiento de los distintos aspectos que se deben considerar, para proveer las bases a fin de desarrollar y evaluar estrategias preventivas y prácticas en salud pública. Las estrategias preventivas pueden dirigirse ya sea a subgrupos de población identificados o bien a toda la población, buscando un cambio general en los factores de riesgo asociados a la enfermedad. Para desarrollar, este modelo tiene como antecedente una base desarrollada en un trabajo de investigación en Argentina en marzo del 2020. Este modelo se empleó en el entorno de simulación Netlogo, esta base tiene como objetivo simular mediante diferentes escenarios hipotéticos ajustando parámetros demográficos, médicos, sociales e institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus. El nuevo modelo parte con el mismo enfoque, pero con ciertas modificaciones.

2. Entidades, variables de estado y escalas.

Existen 4 tipos de entidades, en el modelo aplicado se tiene como referente 3 de las establecidas, agentes (seres humanos), colectivos (susceptibles e infectados) y unidades espaciales (centros de aglomeración).

Tabla 4. Entidades, variables de estado y escalas.

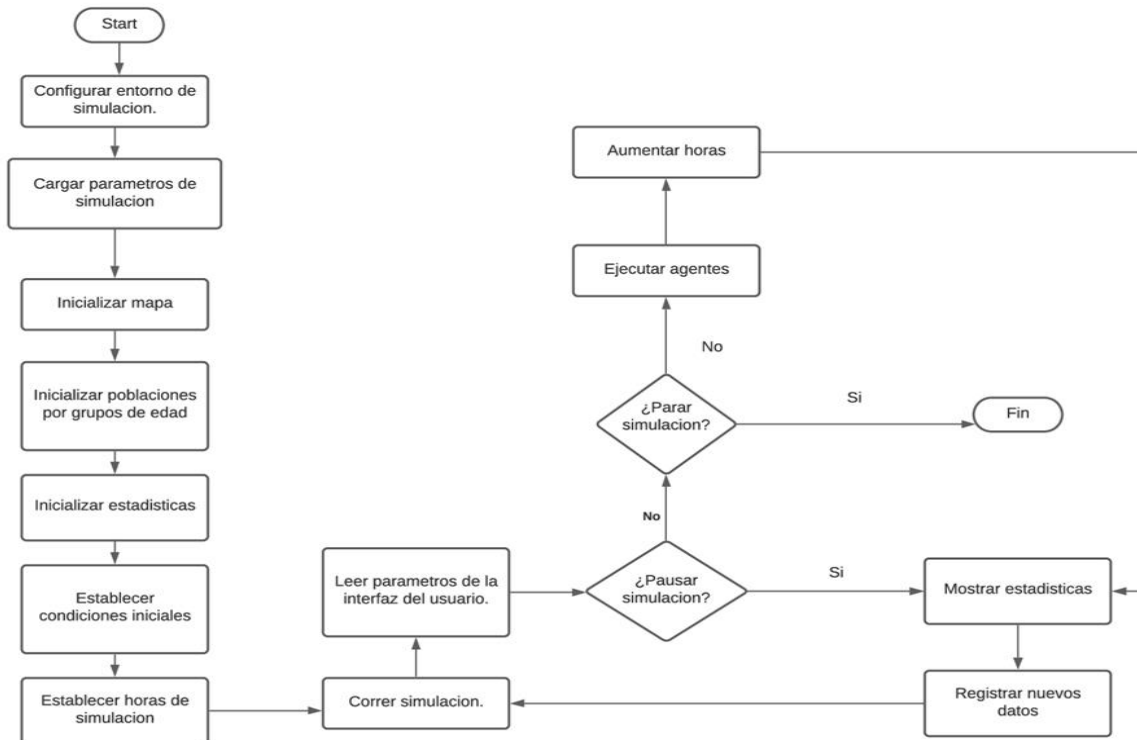
ENTIDADES	VARIABLES DE ESTADO
Agentes/Individuos	-Grupos de edad decenales. -Chance de infección por grupos de edad. -Chance de muerte por grupos de edad. -Número de personas que se desplazan por día y porcentaje de personas que se desplazan infectadas, población infectada inicial
Colectivos	-Infectado -Susceptible
Unidades espaciales.	Capacidad de atención médica, 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

Fuente: Elaboración propia.

Un tick (paso de tiempo) representa 1 hora en la simulación y las simulaciones tienen una duración de acuerdo al mes que se quiere modelar para así comparar con los datos reales.

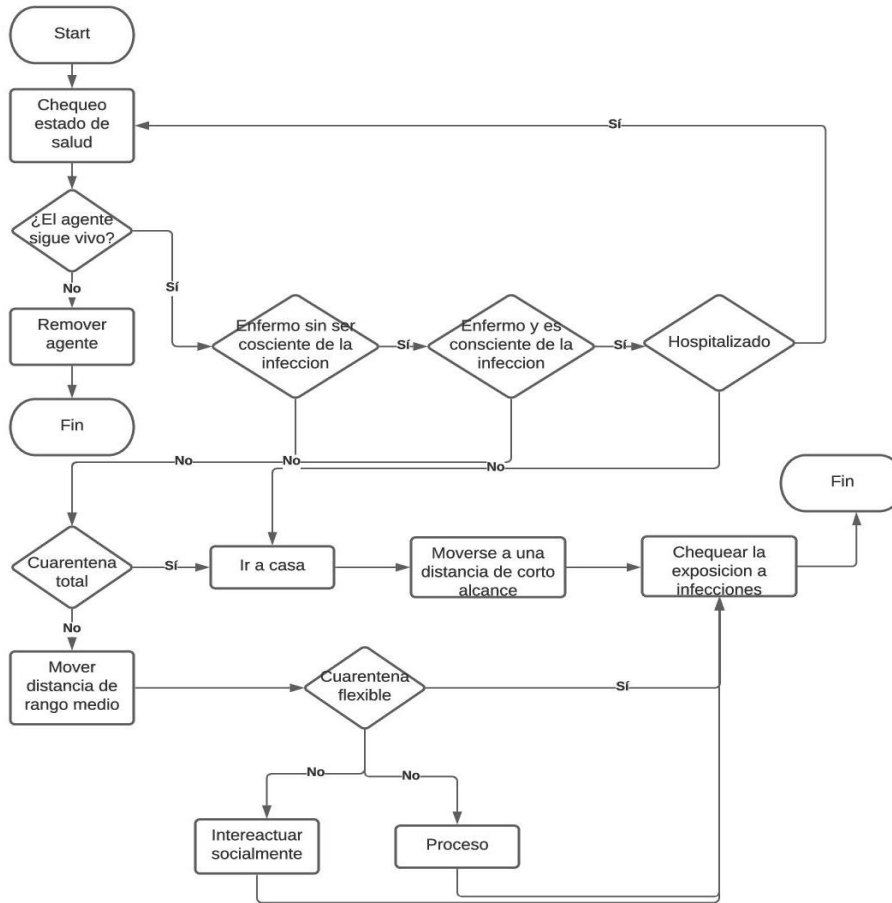
3. Descripción general de los procesos.

Figura 2. Pseudocódigo del loop principal de simulación.



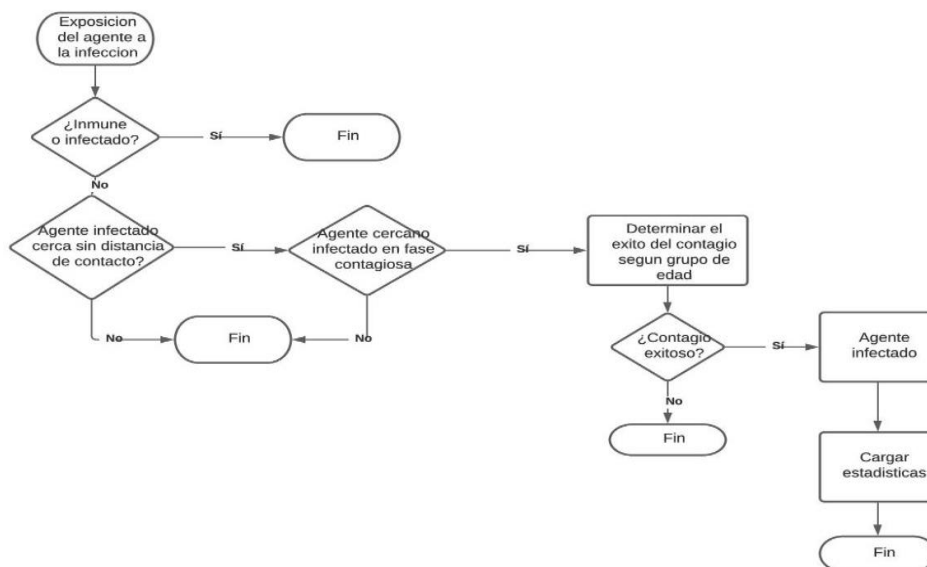
Fuente: Diseñado por los autores Romero, Tisnes y Linares (2020).

Figura 3. Ejecución de los agentes.



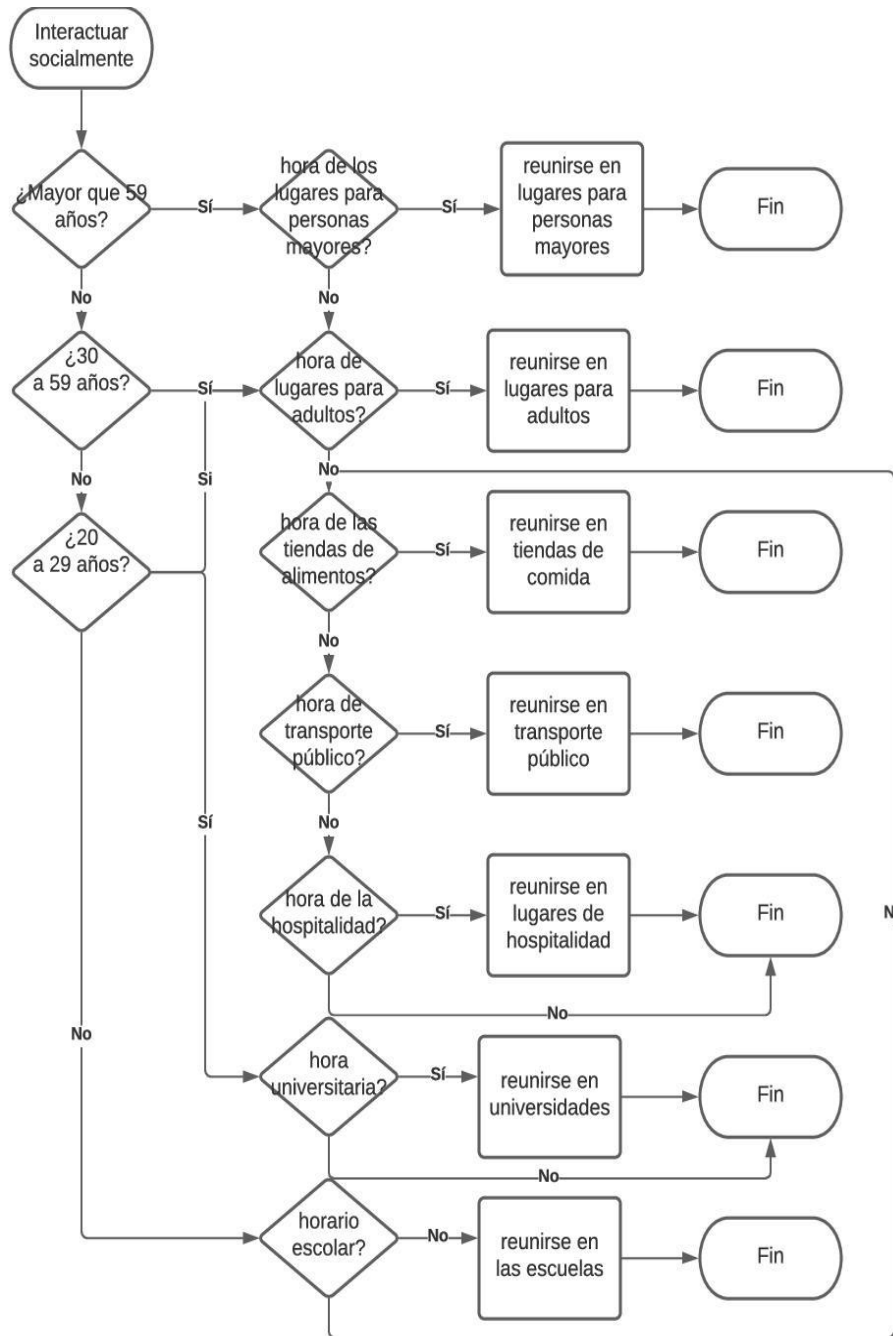
Fuente: Diseñado por los autores Romero, Tisnes y Linares (2020).

Figura 4. Mecanismo de exposición a la infección.



Fuente: Diseñado por los autores Romero, Tisnes y Linares (2020).

Figura 5. Interacción social entre agentes.



Fuente: Diseñado por los autores Romero, Tisnes y Linares (2020).

Conceptos Básicos

- Principios Básicos

El modelo es una replicación del modelo sugerido en la investigación titulada “Modelo de simulación del COVID 19 Basado en agentes. Aplicación al caso Argentino”, Jiménez Romero, Cristian; Tisnés, AdelaIcon ; Linares, Santiago (2020).

- Emergencia

El modelo cuenta con varias variables de tipo aleatorio que hacen que su complejidad sea creciente con sensibilidad de condiciones iniciales en el sistema, comportamientos aleatorios como el trazado del contagio en cada agente es de tipo aleatorio.

- Adaptación

El modelo no refleja como tal una adaptación ya que los agentes pueden contraer más de una vez el virus, puesto que contraer el virus, no los hace inmunes, debido que al contraer nuevamente el virus este presenta sintomatologías más fuertes. Esto sucede de forma aleatoria y se basa en que los agentes se agrupan en diferentes sitios públicos, no existen mecanismos de toma de decisiones.

- Objetivo

El objetivo implícito es describir el comportamiento de las tortugas infectadas, y sanas. Se hace evidente que la preocupación es por la búsqueda de guías y metodologías para la prevención de la infección, en un determinado escenario fuera de lo común. El que hacer si pasa X o Y situación que pueda ser peligrosa para la población (Todas las tortugas).

- Aprendizaje

No existen mecanismos de aprendizaje.

- Predicción

Si el agente (tortuga) se encuentra a una distancia de contagio menor a la acordada por el modelador establecida en el deslizador del modelo (`keep_social_distancing`) el agente cambia de color lo que simula que se encuentra infectado. Además, algunos agentes (Los que sobreviven) según el deslizador del modelo (`Average_infeccion_legnth`) quien asegura a cada tortuga el

tiempo que perdura la infección en cada una de ellas, el deslizador y el valor numérico temporal de recuperación lo establece el modelador. Una vez cumplido el tiempo el agente infectado volverá hacer susceptible nuevamente.

- Interacción

Se produce interacción directa entre individuos, pues si hay tortugas susceptibles que se acercan lo suficiente a las tortugas infectadas (tortugas de color rojo) cambian de color blanco a color rojo, al cabo de un tiempo, indicando que está infectada. La comunicación entre los agentes está determinada por la distancia en la que se encuentran.

- Aleatoriedad.

Las direcciones de avance de las tortugas se definen de forma aleatoria, así como también su punto de ubicación en el mapa para la población inicial infectada.

- Colectivos

Existen colectivos y están representados como los susceptibles estos son de color verde y los infectados de color rojo. Cada agente de cada uno de estos colectivos mencionados actúa de forma independiente.

- Observación

Los resultados para observar la dinámica del sistema están dados por el número de personas infectadas, recuperadas, no tratadas, número de muertes e infectados acumulados, esta información también está representada en gráficas y son necesarias para probarlo, entenderlo y analizarlo. Estos datos son comparados a los datos de la realidad extraídos de la página principal del ministerio de salud según el mes del año que se ha decidido estudiar.

Detalles

- Inicialización

Los valores iniciales se dividen en 3 grupos de parámetros, estos son: Parámetros de población, parámetros médicos y parámetros de interacción social, estos se ajustan según la población de estudio. En los parámetros poblacionales tenemos los grupos de edad decenales, de acuerdo a DANE. chance de infección y chance de mortalidad y los datos se basan en los

estadísticos Nacionales de la pandemia COVID 19. Posteriormente en los parámetros médicos los valores iniciales son establecidos de acuerdo a la infraestructura física.

Los valores iniciales de los parámetros poblacionales fueron extraídos de bases de datos otorgadas por el hospital municipal de Algeciras (Área de Estudio) y el DANE. Los parámetros médicos fueron otorgados por personal médico afiliado al área de estudio y los parámetros de interacción social fueron estimados en vista de la ausencia de registro de algunos datos. La inicialización del modelo está sometidas a cambios de acuerdo a las necesidades del grupo de investigación.

- Variables de Entrada.

El modelo se apoya en bases de datos externa para la comparación de resultados y de su comprobación.

FASE 4: ORGANIZACIÓN Y ANALISIS DE INFORMACION

Antes de realizar el análisis de la información, se debe aclarar que la información brindada por la entidad prestadora del servicio comprende un periodo de tiempo entre marzo del año 2020 y julio del 2021. El primer paso consistió en realizar una limpieza de la base de datos teniendo como referente los datos incoherentes relacionados con errores humanos al momento de registrar la información al sistema. En segundo momento, una vez organizados los datos, se procede a eliminar información personal no relevante para la investigación tales como dirección, numero de documento, estrato socioeconómico, grupo étnico, entre otros. Posterior, se clasifico la población objeto de estudio en intervalos de edad de 9 años como se evidencia en la siguiente tabla:

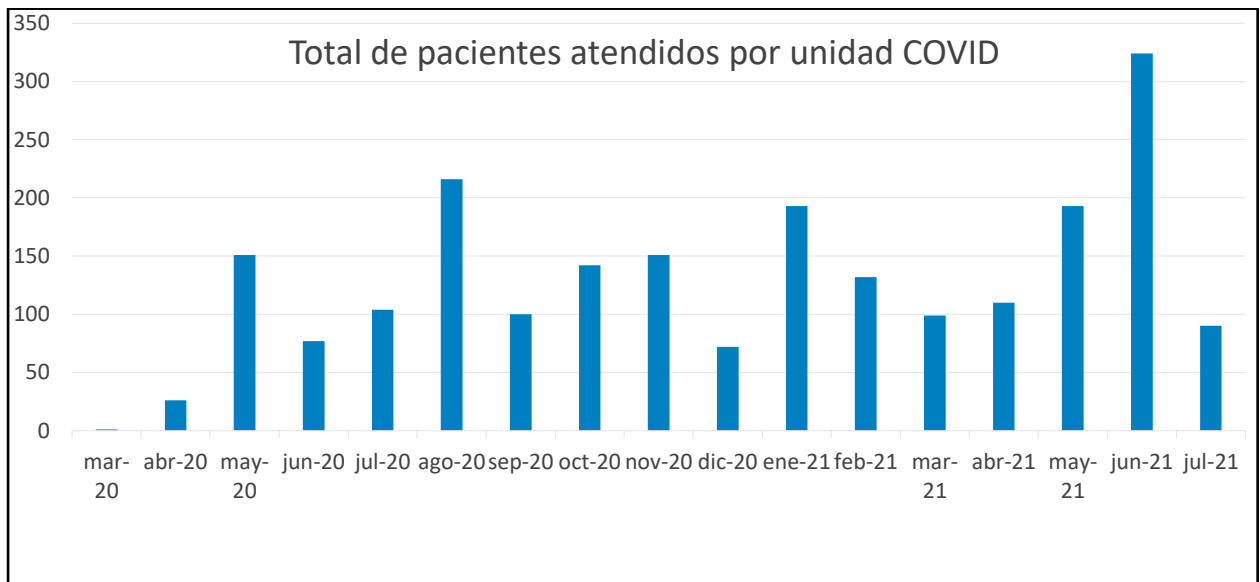
Tabla 5. Clasificación de los grupos de edad.

Grupos de edades	Edad (años)
Grupo 1	Población de 0 a 9
Grupo 2	Población de 10 a 19
Grupo 3	Población de 20 a 29
Grupo 4	Población de 30 a 39
Grupo 5	Población de 40 a 49
Grupo 6	Población de 50 a 59
Grupo 7	Población de 60 a 69
Grupo 8	Población de 70 a 79
Grupo 9	Población de 80 o mas

Fuente: Elaboración propia.

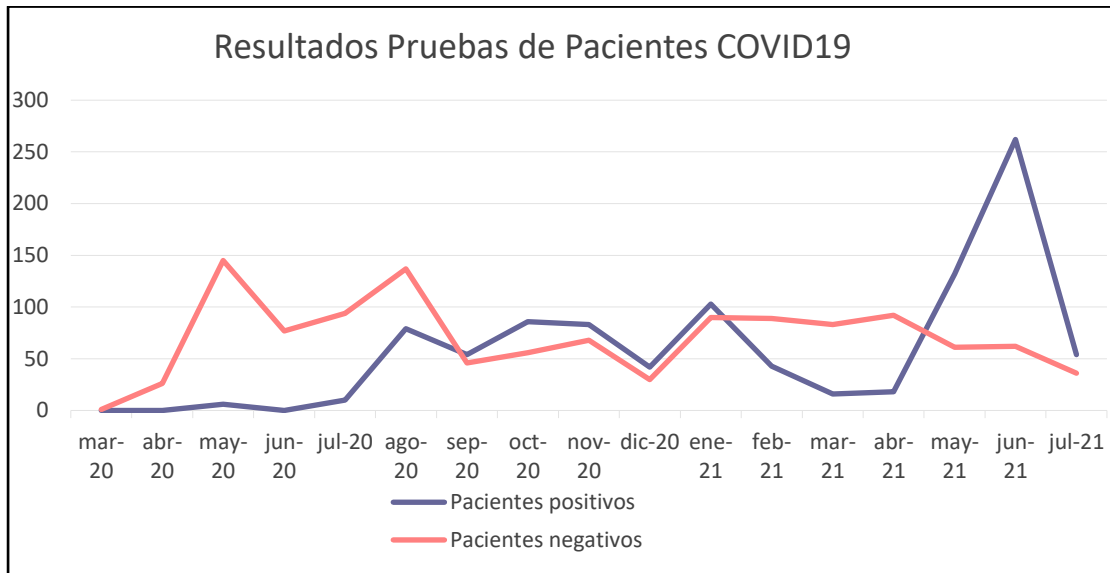
Luego se hizo un análisis estadístico de la población objeto de estudio tal como se evidencia en las siguientes graficas:

Gráfica 1. Relación pacientes atendidos por unidad COVID19



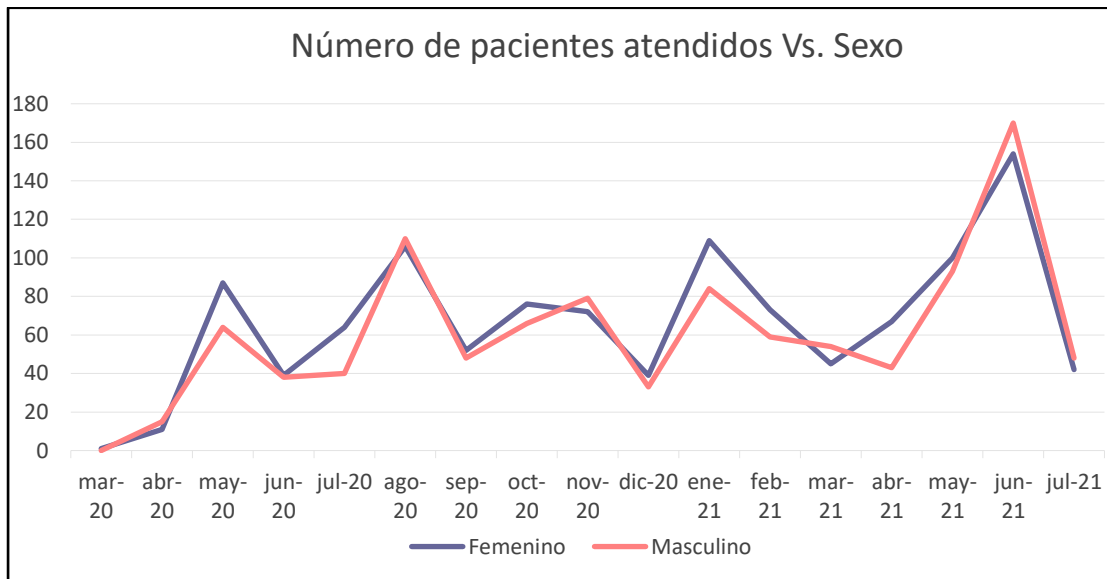
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Relación resultados pruebas de pacientes COVID19.



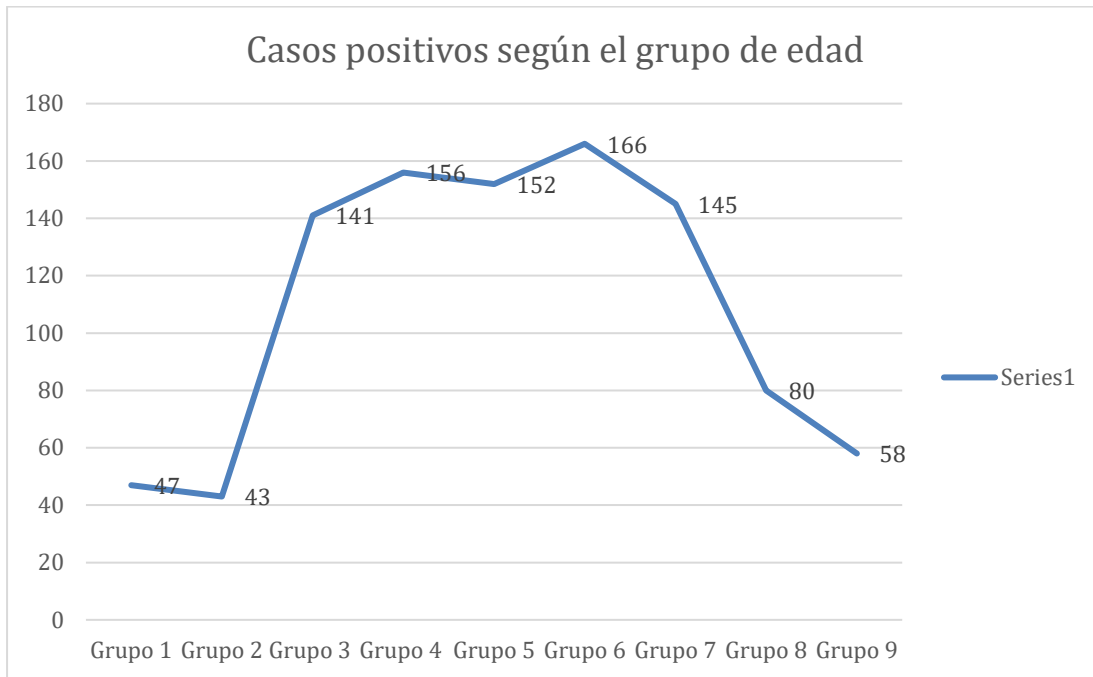
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Relación número de pacientes atendidos según sexo.



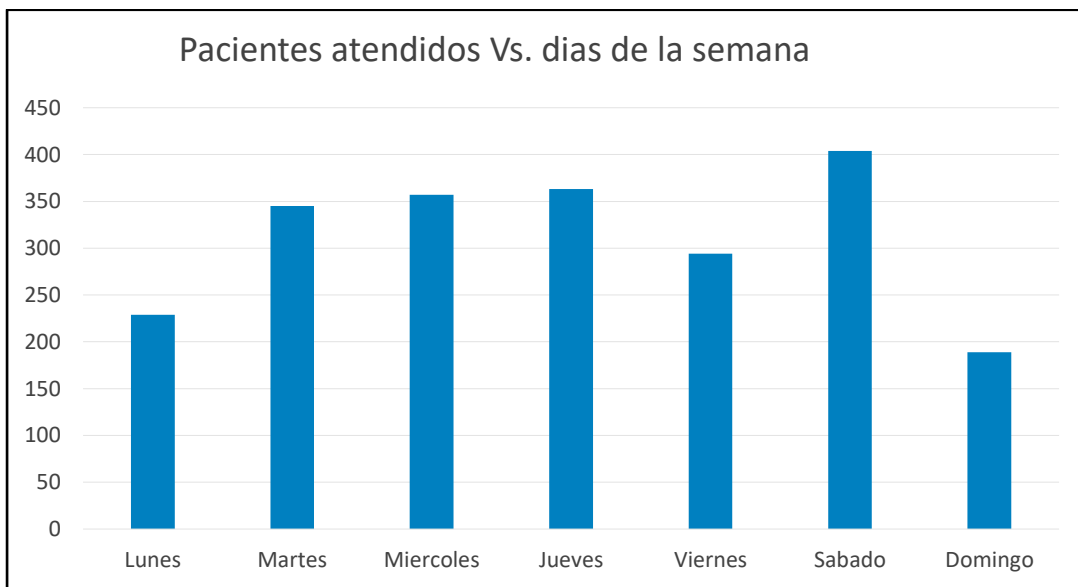
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Relación casos positivos según el grupo de edad.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Relación de pacientes atendidos en la unidad COVID 19 según día de la semana.



Fuente: Elaboración propia.

FASE 5: DISEÑO Y CODIFICACION DEL MODELO NO FORMAL

Se toma el resultado (modelo no formal) de la tercera fase y se procede a buscar, diseñar y codificar un modelo formal. Esta etapa es dirigida por el modelador y tiene dos retos fundamentales. El primer reto, es que el modelo no formal, hecho por el experto, no está completamente especificado, es decir, a menudo existen multitud de modelos formales diferentes que se ajustan perfectamente a las especificaciones del experto, pero al elegir diferentes modelos conducirá a diferentes resultados al ejecutar el modelo formal, por lo tanto, el reto del modelador es tomar solamente modelos formales que se asemejen más al sistema real. Como segundo reto del modelador tenemos que el modelo no formal tiene carencias de coherencia interna, algo que ocurre por el hecho de que la abstracción esta expresada en un lenguaje natural y descubrir incoherencias lógicas en modelos no formales es una tarea trivial.

En conclusión, el modelador debe tratar de buscar, diseñar y codificar un modelo formal tal que cada uno de ellos sea una representación valida de las especificaciones del experto y todos ellos formen una expresión representativa de la abstracción por el experto.

Según lo anterior, se decidió que el modelo más adecuado a implementar fue el planteado por los autores Cristian Jiménez Romero, Adela Tisnés y Santiago Linares quienes desarrollaron la investigación “Modelo de simulación del COVID-19 basado en agentes. Aplicación al caso argentino”. Dicho modelo cuenta con parámetros demográficos, médicos, sociales institucionales asociados a la evolución y dispersión del virus. A continuación, se describen los parámetros definidos antes de ejecutar el modelo:

Tabla 6. Tipos de Parámetros.

Parámetros demográficos	Población inicial por grupos de edad decenales: Como se muestra en la tabla 4, se crearon los grupos de edad decenales y según el censo del 2018 se ajustó la cantidad decenal respectiva a cada grupo de edad.
	Chance de infección por grupo de edad decenales: Se contabilizaron los datos registrados de casos positivos por cada grupo de edad en la data y se dividieron por el total de infectados en general.
	Chance de muerte por grupo de edad decenales: Se contabilizaron los datos registrados de fallecidos por cada grupo de edad en la data y se dividieron por el total de decesos en general.

Parámetros clínicos	Capacidad de atención médica: Este parámetro se relaciona con el número de camas disponibles para la atención especialmente para pacientes con sintomatología COVID19, este dato fue obtenido a partir de las entrevistas realizadas al personal encargado de salud.
	Población infectada inicial: Se contabiliza el acumulado de infectados desde que se confirmó el primer caso en el municipio hasta el 30 de septiembre del año 2020.
	Duración promedio de infección: Este parámetro se definió en base a los resultados de las entrevistas realizadas al personal encargado de salud.
	Tiempo promedio hasta que los síntomas muestran: Este parámetro se definió en base a los resultados de las entrevistas realizadas al personal encargado de salud.
	Promedio de días para que sea posible el contagio: Este parámetro se definió en base a los resultados de las entrevistas realizadas al personal encargado de salud.
	Distancia máxima para que sea posible el contagio: Teniendo en cuenta que durante la pandemia se estableció como protocolo de Bioseguridad por la OMS una distancia de dos metros para evitar el aumento en el número de contagios, por lo tanto, en base a lo anterior se decidió establecer este parámetro como 1.5 metros para que fuese posible el contagio.
	Posibilidad de tener una infección severa: En este parámetro se tomó el número de fallecidos por COVID19 y se dividió por el total de casos positivos registrados.
	Factor multiplicador para la posibilidad de muerte en caso de una infección grave: Para este parámetro se dejó el que estaba predeterminado en el modelo base.
Parámetros de interacción social	Número de escuelas: Se determinó a partir del número de escuelas activas en presencialidad, el desarrollo de actividades académicas durante el 2020 fue con mediación de las TIC, razón por la cual ninguna institución educativa prestó el servicio desde la presencialidad.
	Numero de universidades: El municipio no cuenta con centros de educación superior
	Número de sitios de hospitalidad: Se determinó a partir del número de centros hospitalarios que prestaron sus servicios desde que inicio la pandemia hasta finalizar el año 2020.
	Numero de lugares de reunión para personas de 18 años en adelante.
	Número de lugares de reunión para personas de 60 años en adelante.

	Número de líneas de transporte público: Este parámetro fue estimado debido a que no existe un control por parte de la administración pública.
	Número de comercios alimenticios: Este parámetro fue estimado debido a que para obtener la información se debía realizar un derecho de petición con la gobernación del Huila, este proceso retrasaría la investigación por lo cual se decidió estimar igual que el anterior.
	Número de ingresantes/visitantes a la ciudad por día: Parámetro extraído a partir del control realizado en el año 2020 por parte de la ESE Hospital Municipal como estrategia para mitigar la evolución del virus.
	Porcentaje de ingresantes/visitantes a la ciudad infectados: Parámetro extraído a partir del control realizado en el año 2020 de la ESE Hospital Municipal teniendo en cuenta temperaturas corporales de los visitantes.
	Distancia real representada en metros para cada patch en NetLogo: El cual representa una distancia lógica (patch lógico o Plog) dentro de cada patch determinada por un número aleatorio entre 1 y el valor especificado en metros por patch.
Parámetros de respuestas 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 conservar una distancia mínima determinada expresada en metros. El orden no se sigue con exactitud, 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.

Fuente: Elaboración propia.

FASE 6. INFERENCIAS.

Esta fase consiste en ejecutar el modelo formal adaptado en la fase anterior e indagar implicaciones lógicas. En este caso el modelo es suficientemente complejo por las características que posee el sistema real, se exploran las implicaciones lógicas mediante el uso de la simulación computacional. Este proceso inferencial consiste en aplicar procesos deductivos con el fin de buscar un conjunto de proposiciones que se derivan con necesidad lógica de los axiomas y reglas que definen el modelo (resultado de la fase 4).

FASE 7. ANALISIS, APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL MODELO SIMULADO.

Una vez llevada a cabo la fase anterior de ejecutar el modelo, obtenemos unos resultados que son analizados e interpretados para mejorar nuestro entendimiento de cómo funciona el modelo formal que adaptamos, codificamos e implementamos. Este análisis no es trivial, es conveniente usar formalismos diferentes para estudiar el modelo formal y sus resultados desde diferentes perspectivas. Procedemos a extraer el archivo de tipo .txt que arroja Netlogo al transcurrir 92 días de simulación (2208 horas) esto con el fin de comparar el acumulado de datos reales vs. datos simulados mediante una gráfica, de esa forma conocer que tan cercana estuvo la simulación. La fase 6 y 7 se repite hasta obtener un considerable número de simulaciones cercanas a los datos reales para posteriormente hacer un promedio que me identifique las simulaciones mas aproximadas a la realidad.

El modelador junto con el experto interpreta los resultados obtenidos empleando conceptos referentes al sistema real. Cabe resaltar, que los resultados del modelo formal no poseen significado intrínseco, es decir, son simplemente cadenas de bits deducidas a partir de otras cadenas de bits. Por lo tanto, la interpretación es asignar significados del sistema real a los resultados obtenidos de la simulación.

La aplicación, consiste en aplicar sobre el sistema real el conocimiento que hemos obtenido de la primera abstracción (de muchas). Todo conocimiento extraído de manera formal y libre de error se referirá al modelo formal, no a la abstracción y mucho menos al sistema real. La simulación de sistemas complejos es una práctica de retroalimentación para tener una proximidad cada vez al sistema real, razón por la cual las fases descritas anteriormente se repetirán un número finito de veces.

FASE 8. DIVULGACION DE RESULTADOS

Esta fase final consiste en evaluar que escenario con sus características se asemeja más a la realidad durante el intervalo de tiempo estudiado (oct. 2020 – dic. 2020), exponer los resultados al talento humano que compone el sistema, tanto administrativos como cuerpo médico, para que se tomen medidas para la mejora del sistema y políticas de salud pública. Dicha exposición de

resultados se hubiese hecho siempre y cuando no existiera un método de barrera en la dispersión del virus como lo es la vacunación hoy en día.

7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

- **Entrevistas:** Se llevan a cabo entrevistas de tipo no estructurada, un dialogo informal y de un alto nivel de libertad con los agentes que interactúan en el sistema, estos son: usuarios, médicos, enfermeras, orientadores... para conocer que debilidades y fortalezas posee el sistema, así mismo que mejoras tanto de infraestructura como profesional se pueden aplicar en el mismo sistema.
- **Inmersión en bases de datos (gestión documental):** Como técnica principal de recolección de datos, se recurrió a los registros de usuarios, hecho por el sector de facturación en el sistema de urgencia del año 2020.

CAPITULO 8. RESULTADOS

Aplicación del modelo al caso COVID-19 en el Municipio de Algeciras.

El primer caso confirmado de la pandemia por coronavirus del periodo 2019-2020 en el Municipio de Algeciras fue notificado el día 1 de mayo de 2020. Hasta el día de hoy 1258 casos confirmados de personas infectadas de entre las cuales 62 han muerto.

El gobierno nacional de la mano de las diferentes alcaldías municipales instauró medidas para mitigar el esparcimiento de la pandemia. El gobierno nacional por su parte el día miércoles 25 de marzo de 2020 instauró mediante el decreto 457 el aislamiento preventivo obligatorio hasta el 13 de abril a la media noche, luego fue extendida mediante el decreto 531 del 8 abril del 2020, hasta el 27 de abril y así se fue extendiendo dicho decreto hasta el 30 de agosto. La alcaldía municipal de Algeciras también desarrollo políticas públicas con el fin de evitar la evolución y dispersión del virus tales como cuarentena total y parcial, que iban de la mano con los decretos nacionales. Es cierto que fueron muchas las restricciones, sin embargo, en periodos de mitad de año, incluso antes se flexibilizaron algunas restricciones a municipios que en principios de pandemia cumplieron con las medidas sanitarias, esto significa que no había muchos casos de infección como sucedió en Algeciras. Gradualmente se reestableció la economía con la apertura de negocios y la libre circulación de la población.

La población de estudio, en los primeros meses después del reporte del primer caso y el apego de la cuarentena total, no hubo muchos casos de infectados, por tal motivo lo sustancial a modelar serían los meses en los que el municipio empezó a flexibilizar las restricciones, a partir del 1 de septiembre al 31 de diciembre del 2020 en periodos de 3 meses (92 días en total) se realizaron las distintas simulaciones.

Por tal razón la configuración de los parámetros iniciales incorporados en el modelo se toma de acuerdo a la información proveniente de las distintas fuentes de información (entrevistas e inmersión en base de datos).

- a) Densidad poblacional de adultos mayores de 60 años, Argentina. Fuente: DABE, Censo 2018

- b) Cambio en la movilidad de la población, Municipal de Algeciras según individuos transitando fuente: Decretos de movilidad Municipio de Algeciras: <http://www.algeciras-huila.gov.co/>
- c) Vías de comunicación terrestres de Argentina Fuente: Ministerio de Transporte de la Nación
- d) Establecimientos educativos de todos los niveles y tipos de financiamiento Fuente: Ministerio de Educación de Colombia
- e) Cantidad de camas sanitarias por cada 1000 habitantes Fuente: Hospital del Municipio de Algeciras
- f) Población ocupada en actividades relacionadas con los servicios Fuente: DANE, Censo 2018
- g) Tasa COVID19+ cada 1000 hab. según provincia. Fuente: Ministerio de Salud de la Nación/Hospital Municipal de Algeciras.

Para simular el comportamiento del COVID-19 en Algeciras se seleccionó la población total (DANE 2018) de 22.481 personas, categorizadas en grupos por edades decenales (que fueron tomadas por exceso ya que son decenales), según la distribución real proporcionada por el DANE. Los resultados obtenidos representan en cada uno de ellos el acumulado de la población infectada simulada en los diferentes escenarios, además, la tasa de infección será mostrada por día, es importante mencionar que en cada uno de los escenarios de las simulaciones llevadas a cabo se repitieron en reiteradas ocasiones, para consolidar la información y extraer un promedio discreto representativo de las reiteradas ocasiones que se hizo la simulación, los resultados de cada simulación fueron organizados en una libro de Excel.

En cada uno de los tres escenarios explorados, se parte de una misma configuración de los parámetros iniciales, para las siguientes variables del modelo:

- a) Distribución poblacional total según su grupo de edad.

Tabla 7. Distribución poblacional decenal según su grupo de edad

GRUPO DE EDAD	No. de Habitantes
0-9 años	3800
10-19 años	5000
20-29 años	3700
30-39 años	3100
40-49 años	2600
50-59 años	2300
60-69 años	1500
70-79 años	800
80+	400
Total	23200

Fuente: Elaboración propia.

b) Parámetros médicos

Tabla 8. Parámetros médicos

Parámetro	Valor inicial
Capacidad de atención medica <i>Medical_care_capacity</i>	16 camas
Población infectada inicial <i>Initial_infected_population</i>	0,68%
Duración promedio de infección <i>Average_infection_length</i>	15
Tiempo promedio hasta que los síntomas muestran. <i>Average_symptoms_show</i>	4
Promedio de días para que sea posible el contagio <i>Average_days_for_contagion</i>	11
Distancia máxima para que sea posible el contagio <i>Maximum_contagion_distance</i>	1,5 m
Posibilidad de tener una infección severa <i>Chance_of_severe_infection</i>	5%
Factor multiplicador para la posibilidad de muerte en caso de infección grave: <i>Severity_death_chance_multiplier</i>	1.2

Fuente: Elaboración propia

c) Parámetros de interacción social

Tabla 9. Parámetros de interacción social

Parámetro	Valor
Número de escuelas <i>Active_schools</i>	0
Numero de Universidades <i>Active_colleges</i>	0
Número de sitios de Hospitalidad <i>Active_hospitality_venues:</i>	1

Numero de lugares de reunión para personas de 18 años de edad en adelante: <i>Active_adult_venues</i>	1
Numero de lugares de reunión para personas de 60 años de edad en adelante: <i>Active_senior_venues</i>	1
Número de líneas de transporte público: <i>Active_public_transport_lines</i>	35
Número de comercios alimenticios: <i>Active_food_shops</i>	25
Numero de ingresantes/Visitantes a la ciudad por día <i>People_entering_city_per_day</i>	80
Porcentaje de ingresantes/Visitantes a la ciudad infectados <i>Infected_visitors</i>	2%
Distancia real representada en metros para cada patch en Netlogo: <i>Metres_per_patch</i>	10

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de personas infectadas (%people infected): 0,68% es equivalente a 158 personas infectadas en la simulación que es una cifra aproximada a los infectados acumulados desde que se presentó el primer caso hasta el 30 de agosto (151 infectados). Esta cifra indica tanto los casos identificados como los no identificados dentro de la simulación. Teniendo en cuenta que entre estas 158 personas estas además los casos no tratados. Luego, para distinguir y analizar las diferencias en el comportamiento de cada uno, se modifica los parámetros de respuesta institucionales, esto quiere decir que parámetros como la cuarentena total y parcial se activaran al igual se varia la distancia social de los individuos. De esta manera, se analizaron tres escenarios posibles para la evolución del COVID-19 en Algeciras. En todos los casos, se parte de 158 personas infectadas entre los 21.480 agentes que conforman la población total, hasta llegar al día 90 de la simulación, la cronología de la simulación será ambientada desde el día 1 de octubre del 2020 hasta el día 31 de diciembre del 2020, como lo mencionamos anteriormente, para cada escenario que se preparó, se simulo en reiteradas ocasiones, sus valores numéricos fueron recogidos en una base de datos de Excel y se promedió, para consolidar el número de infectados.

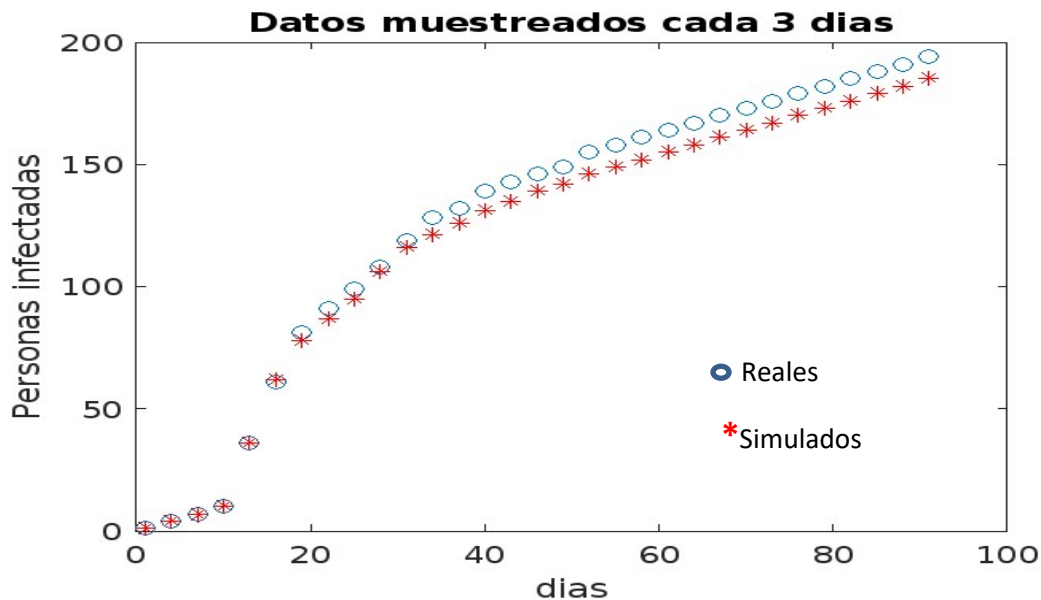
Escenario 1.

En el primer escenario, se partieron de las condiciones iniciales mencionadas anteriormente. En ese momento, no estaba activo los parámetros de respuestas institucionales como son la cuarentena total y parcial, pero si se debía mantener el distanciamiento social mínimo (KSD) de 1.5 metros, esto con el propósito de simular de acuerdo los decretos estipulados para ese periodo de tiempo.

Desde el día 1 hasta el 64, 1 de octubre del 2020 hasta el 3 de diciembre del 2020, posteriormente se activó la cuarentena parcial, hasta el día 31 de diciembre del 2020.

A continuación, se presenta los datos simulados acumulados de contagio del primer escenario respecto a la población real infectada acumulada para ese periodo tiempo teniendo en cuenta lo anterior. Como primer apéndice se va a mostrar el total de acumulados infectados de la simulación vs. Acumulado infectados real muestreados cada 3 días.

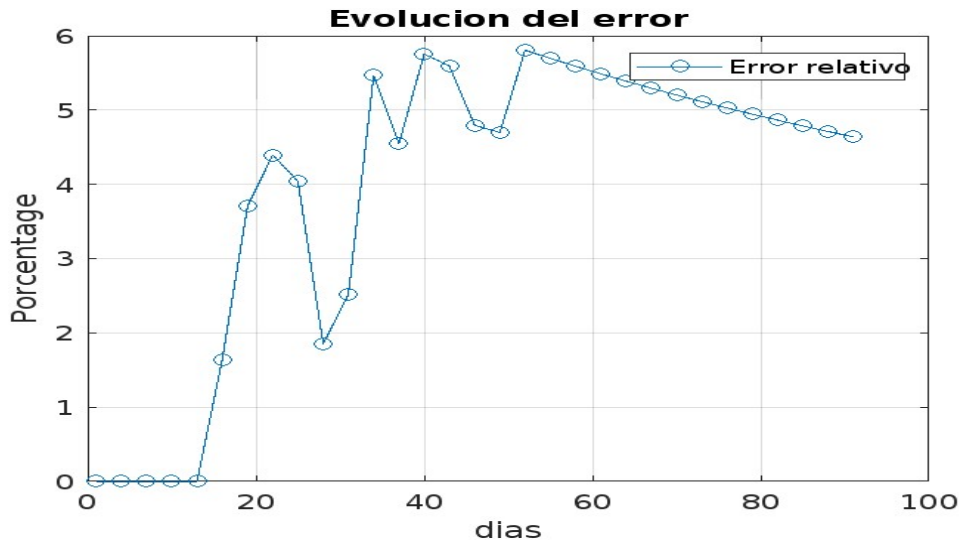
Gráfica 6. Acumulados reales infectados vs. acumulados simulados infectados. Escenario 1.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Se puede apreciar que en el primer escenario la coincidencia de la simulación es muy aproximada, esto se debe en gran manera al apropiado registro que se llevaba para ese tiempo en la época de la pandemia, los resultados simulados (color rojo) están un tanto por debajo de los resultados reales, al cabo de los 90 día. Los datos reales de la población infectada acumulada eran de 211 personas, en los simulados fueron 197 personas infectadas. Es notable ver como en un principio la población que venía sin activarse un parámetro de respuesta institucional su contagio se mantuvo relativamente bajo, hasta llegar al día 10, donde se incrementó de manera exponencial. A continuación, se presenta el error que obtuvo una relación positiva, pues se encontró el 95% de similitud de los datos infectados simulados vs los reales.

Gráfica 7. Comportamiento del error. Escenario 1.



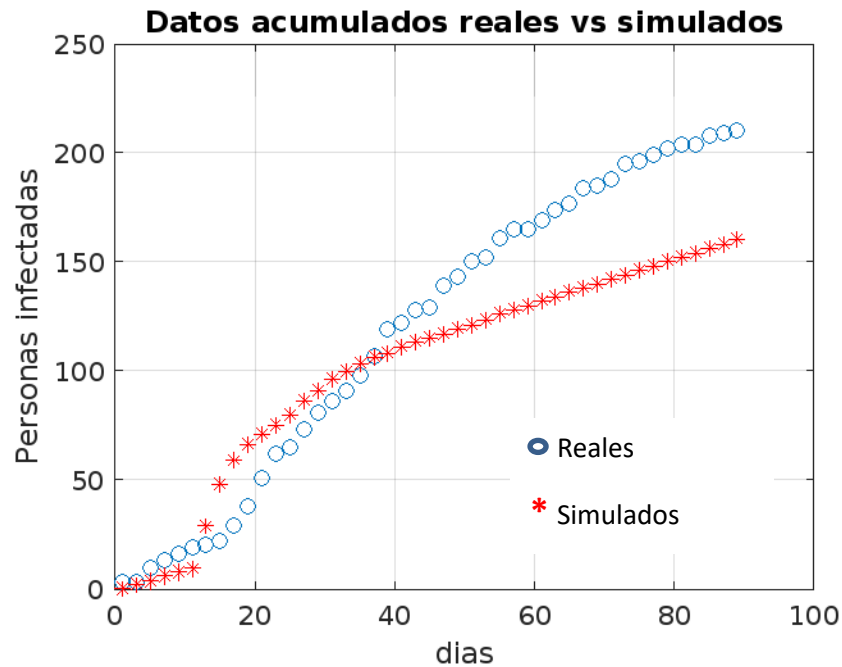
Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Escenario 2.

En este caso al igual que el anterior, se partió nuevamente con los mismos parámetros iniciales. Y nuevamente se activó la distancia social mínima (KSD) de 1.5 metros, rigiéndonos de los decretos establecidos por el municipio según la fecha de expedición. Pasados los 64 días, que corresponde al 3 de diciembre del 2020, se activa la cuarentena parcial, pero a comparación del escenario 1 solo se mantuvo por 10 días, la fecha correspondiente a la que se mantuvo fue hasta el 13 de diciembre del 2020, posteriormente se desactivó y se mantuvo el distanciamiento social (KSD) de 1.5 metros, hasta llegar a los 90 días, es decir, al 31 de diciembre.

A continuación, se presenta los datos simulados acumulados de contagio del segundo escenario respecto a la población real infectada acumulada para ese periodo tiempo teniendo en cuenta lo anterior. Como primer apéndice se va a mostrar el total de acumulados infectados de la simulación vs. Acumulado infectados real muestreados cada 3 días.

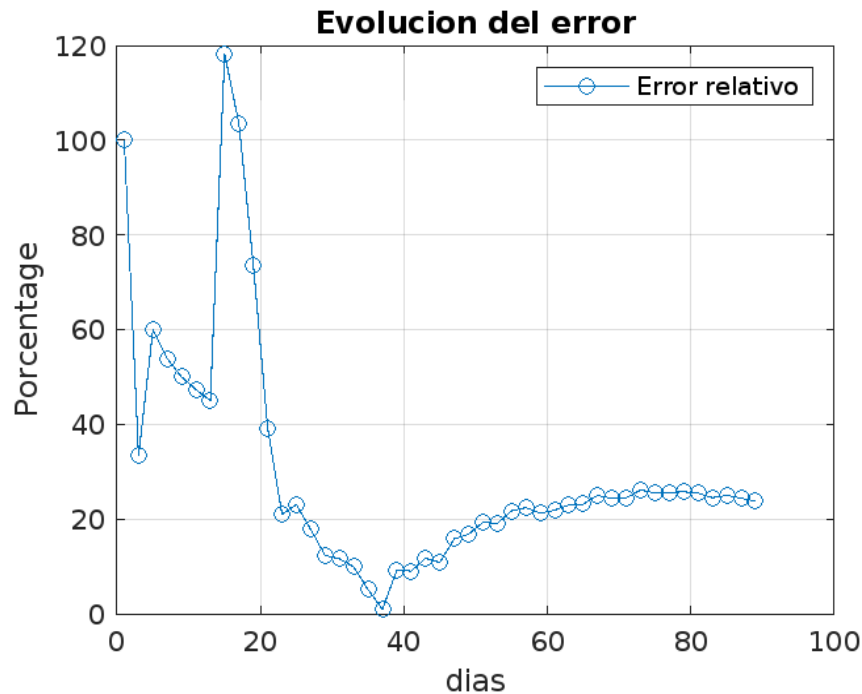
Gráfica 8. Acumulados reales infectados vs. Acumulados simulados infectados. Escenario 2.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Se puede apreciar que ya en el segundo escenario la coincidencia de la simulación no es tan cercana a la realidad, esto se debe a que el parámetro de respuesta institucional, cuarentena parcial, solamente se activó por 10 días durante los 92 días simulados. Como se mencionó antes, los datos reales arrojaban 211 personas infectadas acumuladas y las simulaciones arrojaron en promedio 161 personas infectadas. A continuación, se presenta el error, que obtuvo una relación no tan positiva como el anterior, pues se encontró el 78% de similitud de los datos infectados simulados vs los reales.

Gráfica 9. Comportamiento del error. Escenario 2.



Fuente: Elaboración propia. (Matlab)

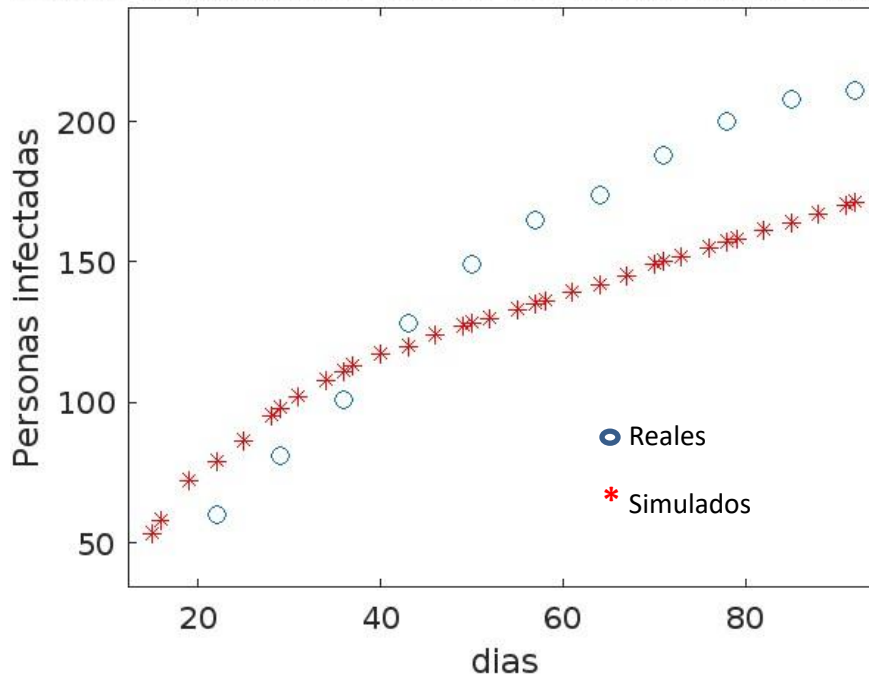
Escenario 3.

En este caso al igual que el anterior, se partió nuevamente con los mismos parámetros iniciales. A comparación de los dos escenarios anteriores, no se tuvo en cuenta durante la simulación ningún no se activó ni cuarentena parcial y mucho menos total pertenecientes al grupo de parámetros de respuestas institucionales, la única similitud a los anteriores fue que se activó la distancia social mínima (KSD) de 1.5 metros.

A continuación, se presenta los datos simulados acumulados de contagio del tercer escenario respecto a la población real infectada acumulada para ese periodo tiempo teniendo en cuenta lo anterior. Como primer apéndice se va a mostrar el total de acumulados infectados de la simulación vs. Acumulado infectados real muestreados cada 3 días.

Gráfica 10. Comportamiento del error. Escenario 3.

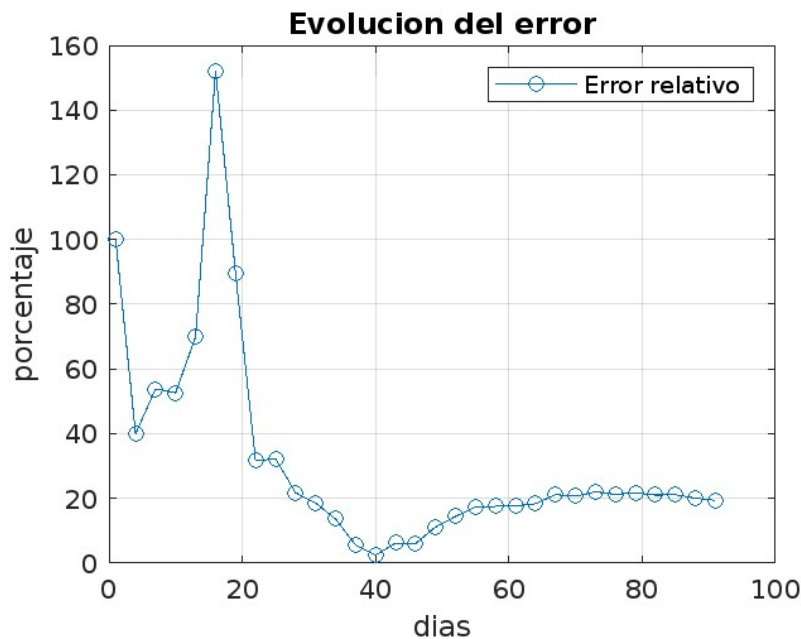
Datos acumulados reales vs acumulados simulado



Fuente: Elaboración propia. (Matlab)

Se puede apreciar que ya en el tercer escenario la coincidencia de la simulación no es tan cercana a la realidad, pero si más certera que la del escenario 2 respecto a los reales. Al no activar ningún tipo de cuarentena se acerca más a cuando se activó por solamente 10 días. Como se mencionó antes, los datos reales arrojaban 211 personas infectadas acumuladas y las simulaciones arrojaron en promedio 171 personas infectadas. A continuación, se presenta el error, que obtuvo una relación más positiva que el escenario 2 pues se encontró el 80% de similitud de los datos infectados simulados vs los reales.

Gráfica 11. Comportamiento del error. Escenario 3.



Fuente: Elaboración propia. (Matlab)

Recaltar el enfoque que se dio a esta investigación y su resultado más importante al que se quería llegar es al resultado de acumulados de la población infectada acumulada a lo largo del tiempo. En la tabla 7, se muestra un resumen de lo anterior que se mostró, los acumulados de cada escenario en comparación con los datos reales, se puede evidenciar que el primer escenario que fue el que más se apegó a la realidad dejando fija las fechas establecidas de los decretos y medidas de restricción vías, es el más similar a la real, los otros escenarios por su parte el comportamiento que refleja es similar solo al principio de los valores numéricos, a tener en cuenta que los escenarios 2 y 3 se simuló con medidas y valores no tan apegados a lo que sucedía en el sistema real, y se hizo de esta manera porque en el mundo real los individuos no pueden hacer necesariamente cumplir las reglas que se han establecido, habrán individuos que no siguieron las normas estipuladas, y puede que ese conjunto de individuos hayan inducido a otros a hacer caso omiso a las reglas otorgadas por el sistema en cuestión, en este caso el municipio de Algeciras, seguramente si los datos de la primera simulación (Escenario 1) se tomaran por semanas, y nos fijáramos en el comportamiento semanal respecto a dinámica de los datos reales, podríamos tener un buen acercamiento.

Se da a conocer resumidamente que fue lo que se hizo en cada escenario planteado, hasta llegar a un promedio en cada simulación de cada escenario.

Tabla 10. Resumen de los escenarios simulados

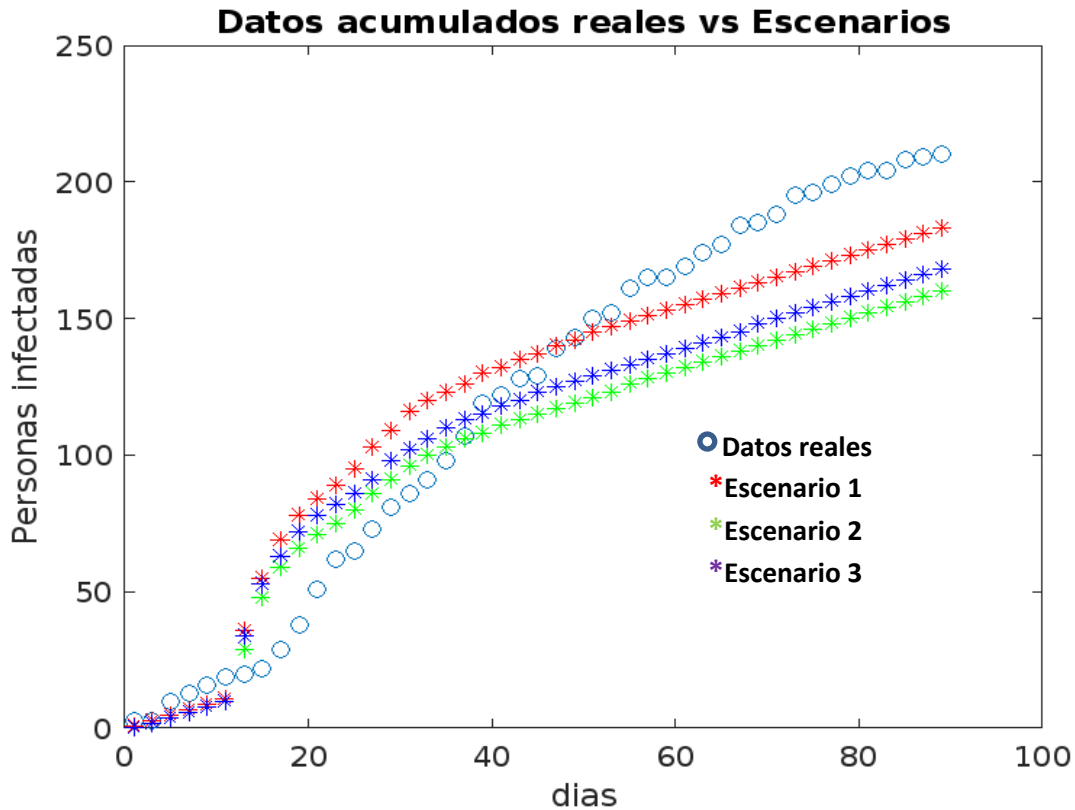
ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
PL (Cuarentena parcial) no se activa desde que inicia la simulación, correspondiente al 1 de octubre del 2020.	Se mantiene desactivada hasta el día 64 de la simulación, correspondiente al 3 de diciembre del 2020	PL (Cuarentena parcial) no se activa desde que inicia la simulación, correspondiente al 1 de octubre del 2020.	Se mantiene desactivada hasta el día 64 de la simulación, correspondiente al 3 de diciembre del 2020	PL (Cuarentena parcial) no se activa en ningún momento de la simulación.	Se mantiene desactivada hasta el día 92 de la simulación, correspondiente al 3 de diciembre del 2020
KSD (Distanciamiento social)	1,5 metros a partir del primer día de la simulación hasta el día 92 de la simulación, correspondiente al 31 de diciembre	KSD (Distanciamiento social)	1,5 metros a partir del primer día de la simulación hasta el día 92 de la simulación, correspondiente al 31 de diciembre	KSD (Distanciamiento social)	1,5 metros a partir del primer día de la simulación hasta el día 92 de la simulación, correspondiente al 31 de diciembre
PL (Cuarentena parcial) se activa desde el día 64 de la simulación, correspondiente al 3 de diciembre del 2020.	Se mantiene activa, hasta el día 90 de la simulación, correspondiente al día 31 de diciembre del 2020	PL (Cuarentena parcial) se activa desde el día 64 de la simulación, hasta 10 días después, correspondiente al 13 de diciembre del 2020.	Se mantiene activa, hasta el día 75 de la simulación, correspondiente al día 13 de diciembre del 2020	PL (Cuarentena parcial) no se activa desde el día 0 hasta el día 92 de la simulación,	Se mantiene desactivada durante toda la simulación.

Fuente: Adaptado de Romero, Tisnes y Linares (2020).

En el siguiente apartado, se muestra los 3 escenarios propuestos vs los datos reales, el escenario que más se acerca a la realidad es el primero, y tiene sentido pues en él se siguió a la par con las normas impuestas por el municipio de Algeciras, los otros escenarios que se simularon fueron regidos por normas vistas por el observador, en este caso nosotros como investigadores, pues se puede apreciar cómo no necesariamente se cumplían las normas y restricciones al pie de la letra,

por eso se intentó encontrar otra alternativa que dieran otros resultados más favorables y cercanos a los datos reales. A continuación, se presenta el resumen de los escenarios.

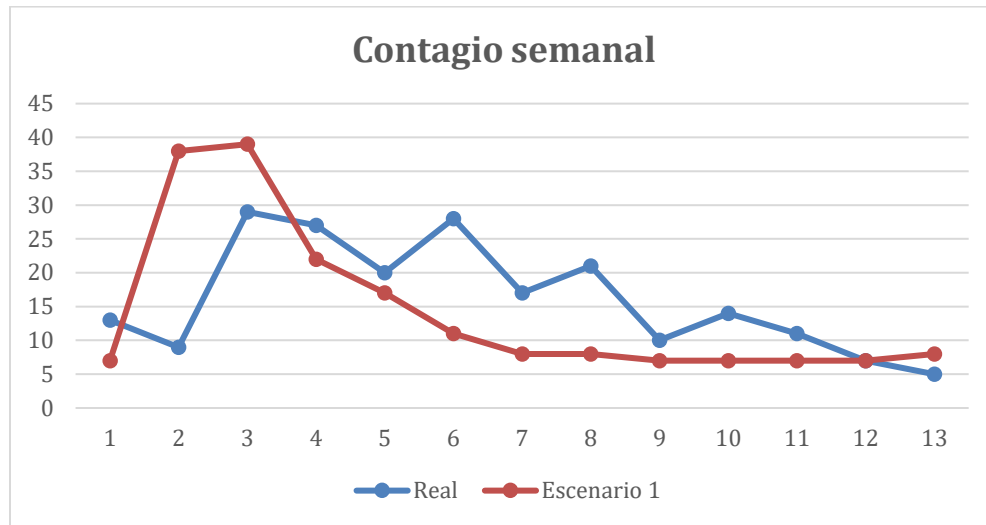
Gráfica 12. Datos acumulados reales vs acumulado de escenarios.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

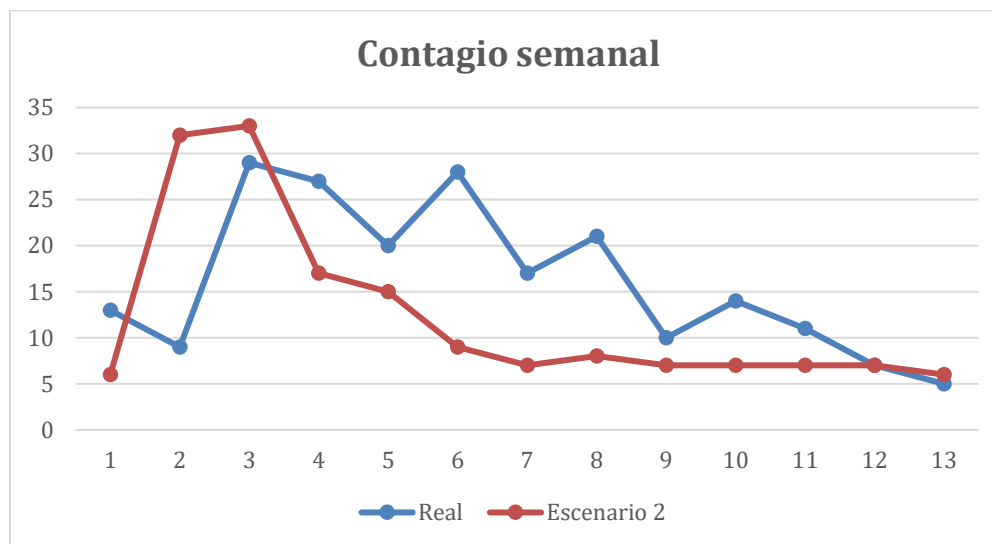
Seguidamente se va a presentar los casos de infectados por semana, es decir, se tomaron intervalos de tiempo de 7 días y el número acumulado de infectados según la semana, se adjuntaron un total de 13 semanas correspondiente a los 92 días de simulación, se presentan 3 gráficos referentes a los 3 escenarios.

Gráfica 13. Comportamiento semanal. Escenario 1.



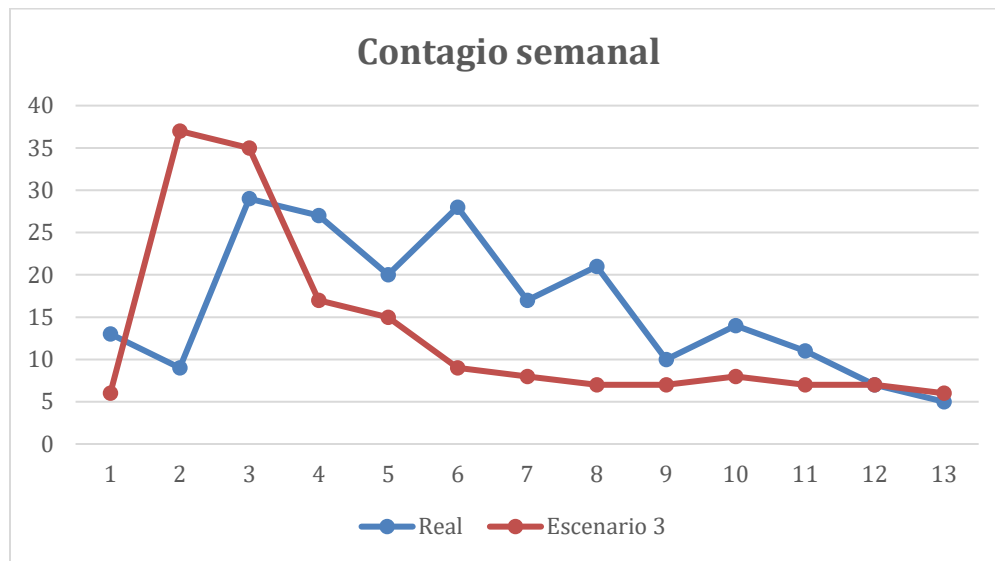
Fuente: Elaboración propia (Excel)

Gráfica 14. Comportamiento semanal. Escenario 2



Fuente: Elaboración propia (Excel)

Gráfica 15. Comportamiento semanal. Escenario 3.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Se puede apreciar que el primer escenario nuevamente es el que cumple mejor la similitud con el trazado de los datos reales, en la sexta semana la simulación se acopla y deja de seguir a la par el mismo patrón que el de la gráfica real, sin embargo se mantiene hasta cierto punto al final se va culminando en datos pequeños, se puede esperar que de la 5 hasta la 9 semana correspondientes al 5 de noviembre del 2020 y el 3 de diciembre del 2020 respectivamente pudo ocurrir que la población no se apegó tanto a la normas de restricción impartidas por el municipio, y desde luego hubo un descuido del municipio, los casos se incrementaron, y dado lo ocurrido, se instauró nuevamente la cuarentena parcial, donde hubo restricción vial y toque de queda, por eso el embozo de la gráfica baja poco a poco, al igual que en la simulada. Incluso se evidencia que en cada escenario ocurrió lo mismo, a partir de la 5 a 9 semanas donde no se modificó ningún tipo de restricción en ninguna simulación, se diferenciaron de la real en cada escenario. Recalcar que en el proceso de la simulación se pueden llegar a estas conclusiones, y de ahí la mejora que se puede otorgar a cada posible nuevo escenario a simular.

Los resultados de este trabajo abarcan desde los sistemas complejos dinámicos los cuales utilizan una metodología basada en modelados como lo es Netlogo.

Podemos encontrar también que el COVID19 es una enfermedad que en los primeros meses tuvo demasiada incidencia en las personas ya que era un agente nuevo que estaba ingresando en los sistemas inmunológicos de las personas. Sin embargo, al iniciar los estudios de las posibles vacunas y al encontrar la que más se adecuaba a una posible vacuna se evidencia que tuvo gran alivio en la población, al comienzo las vacunas fueron suministradas de manera paulatina como es el caso en Colombia, donde se clasificó por personas con comorbilidades y por edades; de igual manera, los casos empezaron a disminuir considerablemente que permitió la apertura nuevamente de establecimientos, colegios, universidades, trabajos; y hoy en día el tema con esta enfermedad ha ido mejorando incluso con el uso del tapabocas. Es importante tener en cuenta los consejos que dan los profesionales en el tema y seguirlos rigurosamente.

Además, se han tomado medidas que se han arraigado mucho a la población a ser más cautelosos y más aún, a saber, reaccionar a posibles futuras pandemias con un nuevo agente, teniendo en cuenta las herramientas de modelado se puede evidenciar cómo se comporta un virus y su crecimiento o disminución a lo largo de los días, el propósito de estas herramientas es implementar modelos de comportamiento para analizar la simulación multiagente.

CAPITULO 9. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a lo documentado es importante entender inicialmente cual es el programa que se quiere utilizar y cuál es su objetivo principal para llegar a los resultados esperados que son tanto el proponer un modelo conceptual para el estudio del virus COVID 19 y también el desarrollar el programa para ser utilizado en otros municipios de Colombia, partiendo de un modelo base.
2. El modelador debe tratar de diseñar, codificar e implementar un modelo formal tal que cada uno de ellos sea una representación valida de las especificaciones del experto y todos ellos formen una expresión representativa de la abstracción por el experto.
3. Los sistemas complejos adaptativos (SCA) son considerados como sistemas compuestos por agentes interactuantes descritos en términos de reglas, se adaptan según sus experiencias acumuladas. Los SCA poseen siete componentes básicos, cuatro propiedades y tres mecanismos los cuales son:
4. Entender que el país cuenta con una Constitución establecida la cual se relacionan los artículos en cuanto a los derechos del ciudadano y la pronta atención en estado de vulnerabilidad y emergencia.
5. Es importante entender como primera instancia el procedimiento básico de las unidades de urgencias en los municipios y en las ciudades, con respecto al nivel de atención de urgencias al ciudadano, es decir, el triage.
6. El poder de la IA se debe a su capacidad para analizar infinidad de variables y detectar interacciones entre ellas que son imperceptibles para el ser humano, permitiendo obtener resultados más precisos.
7. Concluyendo que en los modelos basados en agentes nos detallan aún más la realidad y nos provee de mucha información para protegernos de la pandemia, aunque no se utilice un



modelo para predecir, perfectamente como este, se puede utilizar para llegar a una aproximación mucho más cercana a cómo se comporta el fenómeno en cuestión y realizar las medidas respectivas a una determinada población.

CAPITULO 10. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Castro, J. L., & Terán Villegas, O. R. (2021). COVID-19 y sus implicaciones sociales:

una mirada desde las ciencias computacionales. *Educere*, 25(80), 147-164.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35666280013>

Aguilera Ontiveros, A., & Posada Calvo, M. (2018). *Introducción al modelado basado en*

agentes. Una aproximación desde Netlogo (1.^a ed.). El Colegio de San Luis.

Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas* (Alianza Editorial (ed.)).

Cárdenas Garnica, D. A., Covo Guzmán, J., Suárez Carrizosa, N., & Rodríguez Cruz, J. C.

(2020). Asignación de espacios en tiempo real por medio de un modelo basado en agentes

(ABM) [Pontificia Universidad Javeriana]. En *Pontificia Universidad Javeriana*.

<http://hdl.handle.net/10554/53057>

Ceballos, Y. F. (2021). Simulación en tiempos de pandemia. *Revista Colombiana de*

Computación, 22(1), 56-57. <https://doi.org/10.29375/25392115.4154>

Centro de Prensa - OMS. (2020, abril 27). COVID-19: cronología de la actuación de la OMS.

Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>

Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 100 de 1993. *Diario Oficial* 41.148.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0100_1993.html

D’Orazio, M., Bernardini, G., & Quagliarini, E. (2020). *How to restart? An agent-based*

simulation model towards the definition of strategies for COVID-19 «second phase» in public buildings. 1-21. <http://arxiv.org/abs/2004.12927>

Delgado, J. (2021). Modelo dinámico de la pandemia de COVID19. *Sanidad Militar*, 77(1), 7-16.

<https://doi.org/10.4321/s1887-85712021000100002>

Departamento nacional de estadísticas. DANE. (2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. 31.

Díaz Pinzón, J. E. (2020). Uso de modelo predictivo para la dinámica de transmisión del COVID-19 en Colombia. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 34-44.

<https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.01217372.1056>

García, R. (2006). Sistemas complejos, conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. En Gedisa (Ed.), *Cla. De. Ma. Filosofía de la Ciencia*. (1.^a ed.). Gedisa.

García Vásquez, J. C., & Sancho Caparrini, F. (2016). *NetLogo, Una herramienta de modelado*. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?p=libros>

Gomez, J., Prieto, J., Leon, E., & Rodríguez, A. (2021). INFEKTA—An agent-based model for transmission of infectious diseases: The COVID-19 case in Bogotá, Colombia. *PLOS ONE*, 16(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245787>

Gómez Marín, C. G., Mosquera Tobón, J. D., & Serna-Urán, C. A. (2021). Modelo de microsimulación basado en agentes para la propagación del COVID-19 en Medellín-Colombia. *Revista EIA*, 18(36), 1-6. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1501>

Kerr, C. C., Stuart, R. M., Mistry, D., Abeysuriya, R. G., Rosenfeld, K., Hart, G. R., Núñez, R. C., Cohen, J. A., Selvaraj, P., Hagedorn, B., George, L., Jastrzębski, M., Izzo, A. S., Fowler, G., Palmer, A., Delport, D., Scott, N., Kelly, S. L., Bennette, C. S., ... Klein, D. J. (2021). Covasim: An agent-based model of COVID-19 dynamics and interventions. En *PLoS*

Computational Biology (Vol. 17, Número 7). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009149>

Lacasta, M. (2013). *Sistemas Dinámicos*. Axonométrica.

<https://axonometrica.blog/2013/06/17/sistemas-dinamicos/>

Lozado Plua, C. A., & Ramos Moncayo, L. A. (2021). *Prototipo de un modelo logístico-inteligente basado en aprendizaje de máquina supervisado, que facilite el acceso oportuno al servicio prehospitalario, en estado de emergencia por Covid-19* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52630>

Maldonado, C. E., & Gómez-Cruz, N. A. (2010). *El mundo de las ciencias de la complejidad: un estado del arte*.

Ministerio de Salud. (2000). Decreto numero 783 de 2000. *Diario Oficial 44.007, mayo 3*.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-0783-de-2000.pdf>

Ministerio de Salud Pública. (1992). Decreto 412 De 1992. *Diario Oficial No. 40.368*.

http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/319/Normas_legales_en_Contratacion_entre_Instituciones_en_SGSSS/Decreto_412_de_1992_Normas_urgencias_.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). *Resolucion 5596 del 2015*. 2015, 5.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución_5596_de_2015.pdf

Moriello, S. (2004). *Ingeniería genética y nanotecnología pueden alumbrar nuevas especies artificiales • Tendencias21*. Tendencias21. https://tendencias21.levante-emv.com/ingenieria-genetica-y-nanotecnologia-pueden-alumbrar-nuevas-especies-artificiales_a393.html

Peralta Polo, J., Caro Candezano, M. A., & Niebles Núñez, L. (2020). Dos enfoques matemáticos

epidemiológicos para modelar el comportamiento de los decesos causados por el COVID-

19. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(2), 75-86.

<https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.4257>

Rojas, G., Romero, R., Pacheco, R., Villalobos, C., & Gómez, A. (2021). Modelado estadístico para la gestión de los primeros tres meses de la COVID-19 en Costa Rica. *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración*, 55-74.

<https://doi.org/10.32719/25506641.2021.10.3>

Romero, C. J., Tisnés, A., & Linares, S. (2020). Modelo de simulación del COVID-19 basado en agentes. Aplicación al caso argentino. *IniGEO*, 1-22.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107719>

Schaeffer, S. E. (2021). *Simulación de epidemias bajo medidas de contingencia Objetivos y metas*. https://elisa.dyndns-web.com/research/projects/paicyt/paicyt_2021.pdf

Caparrini, F. S. (5 de 08 de 2020). *Investigación: Sistemas Complejos*. Obtenido de Red científica: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?p=sistemas-complejos-2>

Hilbert, M. (16 de octubre de 2015). *Qué son los sistemas complejos*. Obtenido de

[https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-](https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-complejos/#:~:text=Un%20sistema%20complejo%20es%20un,desarrollo%20son%20llen)

[complejos/#:~:text=Un%20sistema%20complejo%20es%20un,desarrollo%20son%20llen](https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-complejos/#:~:text=Un%20sistema%20complejo%20es%20un,desarrollo%20son%20llen)
[os%20de%20complejidades](https://www.martinhilbert.net/que-son-los-sistemas-complejos/#:~:text=Un%20sistema%20complejo%20es%20un,desarrollo%20son%20llen).

Pereda, M. (7 de febrero de 2015). *Science Direct*. Obtenido de Modelado Basado en Agentes: un Enfoque desde la Ingeniería de Sistemas: <file:///E:/Descargas/S169779121500031X.pdf>

Secretaria de salud publica. (2019). *Alcaldia de manizalez*. Obtenido de CONOZCA LA LEY

ESTATUTARIA DE SALUD: <https://manizalessalud.net/conozca-la-ley-estatutaria-de-salud/>

Caparrini, F. S. (5 de 08 de 2020). *Investigación: Sistemas Complejos*. Obtenido de Red

científica: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?p=sistemas-complejos-2>

Arenas Cruz Mauricio. (2015, octubre 26). *Sistemas complejos. Conceptualización y descripción*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/sistemas-complejos-conceptualizacion-y-descripcion/>

CAPITULO 11. ANEXOS

11.1 ANEXO 1. ÁRBOL DE PROBLEMAS

