

MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MUESTRAS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL COVID-19 DE LA CIUDAD DE ARMENIA-QUINDÍO, COLOMBIA.

Ing. Adriana María Caicedo Tique, Ing. Sebastián Zapata MSc. PhD.

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

RESUMEN.

El virus SARS-CoV2 produjo una pandemia durante el año 2020 que se extiende hasta el presente, causando cambios radicales en el comportamiento de la humanidad. En Colombia, nuestro grupo de investigación ha trabajado en diversos temas acerca del COVID-19 tales como estimaciones de picos para ciudades principales, comportamiento de ocupaciones de UCI a nivel nacional, entre otras. Nuestra más reciente investigación analizó el efecto de los retardos asociados al procesamiento de muestras para el diagnóstico del COVID-19 sobre la propagación de la epidemia mediante dinámica de sistemas, identificando una visión sistémica de la cadena de valor asociada al procesamiento de muestras para el diagnóstico del COVID-19 en la ciudad de Armenia - Quindío, Colombia; permitiendo construir un modelo de simulación que refleje el efecto de los retardos asociados al procesamiento de muestras. Los resultados de este trabajo mostraron el efecto sobre los indicadores de la propagación de la epidemia, los cuales reflejan que la tardanza en la toma de las muestras para el diagnóstico de la enfermedad, influyen severamente en el aumento de las muertes, puesto que entre más se tarda el resultado, menos control al cerco epidemiológico puede hacerse.

ABSTRACT.

SARS-CoV2 has produced a pandemic during the 2020 that is extended so far, making radical changes in the human behavior. In Colombia, our research group has work in multiple topics about COVID-19 like estimating of peaks for the main cities, national occupation behavior of intensive care unit, among others. Our most recent research analyzed the retard effects associated to processing of samples for COVID-19 diagnostic over the pandemic propagation through system dynamic, identifying a systemic vision from the value chain associated to samples processing to COVID-19 diagnosis in Armenia city, Quindio, Colombia; allowing to build a simulation model that shows the retards associated to the sample processing. These results showed the effects over the pandemic propagation indicators for the pandemic, which exhibit that delay taking samples for disease diagnosis, influence severely over increase in death, because longer is results less control over epidemiologic circle can be done.

1. INTRODUCCIÓN.

Hasta el año 1930 se creía que los Coronavirus solo se infectaban entre animales, pero con el paso del tiempo, las alteraciones circunstanciales y genéticas, permitieron pasar la barrera y pudieron saltar a los humanos, (Urbano Arcos, Ruíz Ponce de León, Oliveros, Mejía Rivera, & Rojas Hernández, 2020).

El virus SARS-CoV2 causó la pandemia del COVID-19 a nivel mundial, el 31 de diciembre de 2019 se informaron 27 casos de una neumonía de origen desconocido, los antecedentes de los pacientes solamente indicaban exposición a pescados, y animales vivos en la Ciudad de Wuhan, China, (Manrique, Agudelo, González, & Gutiérrez, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) expresó que el virus SARS-CoV2 es una Emergencia de Salud Pública de Importancia Internacional (ESPII), entre 2 y el 10 de marzo de 2020, se presentaron 113.672 casos, los cuales estaban distribuidos en 100 países de diferentes regiones, (Manrique et al., 2020). En Colombia, el primer caso se presentó el 6 de marzo de 2020, el cual fue confirmado por el Ministerio de la Salud y la Protección Social, se trató de una paciente de 19 años que provenía de la ciudad de Milán, quién presentó síntomas, se le practicaron los respectivos análisis y los cuales arrojaron positivo, (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020). Uno de los grandes retrasos para evitar la propagación del virus ha sido la toma de decisiones, América Latina está interesada en hacer un manejo eficiente de la pandemia y para ello toma como ejemplo el buen manejo que presentaron en el Europa como Asia, desafortunadamente, las condiciones políticas y sociales en Latinoamérica son muy diferentes, convirtiendo al continente en uno de los epicentros de la enfermedad. (F. Aguilar, 2020).

Entre las principales prelacones para intervenir la salud en la región en Latinoamérica es el laboratorio clínico, la prueba busca descubrir genes virales para el positivo por COVID-19 las cuales recogen partículas respiratorias a través de hisopos nasofaríngeos y/o lavado bronco alveolar para pacientes con enfermedades respiratorias graves, (Palacios Cruz, Santos, Velázquez Cervantes, & León Juárez, 2020).

De acuerdo con Priscila Aguilar (P. Aguilar et al., 2020), es de vital importancia tener personal altamente capacitado para la toma de muestras, y que posean buen manejo de las técnicas moleculares con el fin de tener una adecuada identificación del virus. La normalización para obtener, mover, recoger las muestras es sumamente importante para detener la expansión de la pandemia mundial causada por el COVID-19.

La importancia de la realización de pruebas para detección del virus en el mundo es con la finalidad de establecer si una persona que tiene síntomas puede aislarse de inmediato, un ejemplo claro es Corea del Sur que, con cifras de 8413 casos positivos, solamente tuvo 84 muertes, el gobierno de este país tuvo reacción inmediata con un plan en el que se realizarían 15 mil pruebas al día, no sólo a los pacientes con síntomas, sino a todos con los que el paciente positivo tuvo contacto. En Alemania, de inmediato se conoció el primer caso positivo, el Gobierno procedió a tomar 40 mil pruebas a la semana, con el fin de detectar casos asintomáticos y minimizar la curva de contagios que según el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de Estados Unidos, es la mejor manera para ganar la batalla contra el coronavirus, (Galván & Miranda, 2020).

Un caso contrario fue Italia, que a diferencia de Alemania y a Corea del Sur, reaccionó tardíamente a la realización de pruebas masivas para la detección de casos positivos, lo que produjo la saturación de hospitales, y de la aguda decisión de concluir quién recibiría respirador, y quién sería descartado para su uso. Sólo en Italia, se reportaron 28.710 positivos y 2.978 muertes por COVID-19 lo que indica que las cantidades disponibles de respiradores eran insuficientes de acuerdo con la medida en la que se expandía el virus, es por ello por lo que una detección temprana es valiosa, (Galván & Miranda, 2020).

2. JUSTIFICACIÓN.

En Colombia, existe una cadena logística para la realización de pruebas de diagnóstico de COVID-19. A continuación, se muestran los cuatro momentos clave con responsabilidades distintas para la realización de Pruebas de Diagnóstico COVID-19.

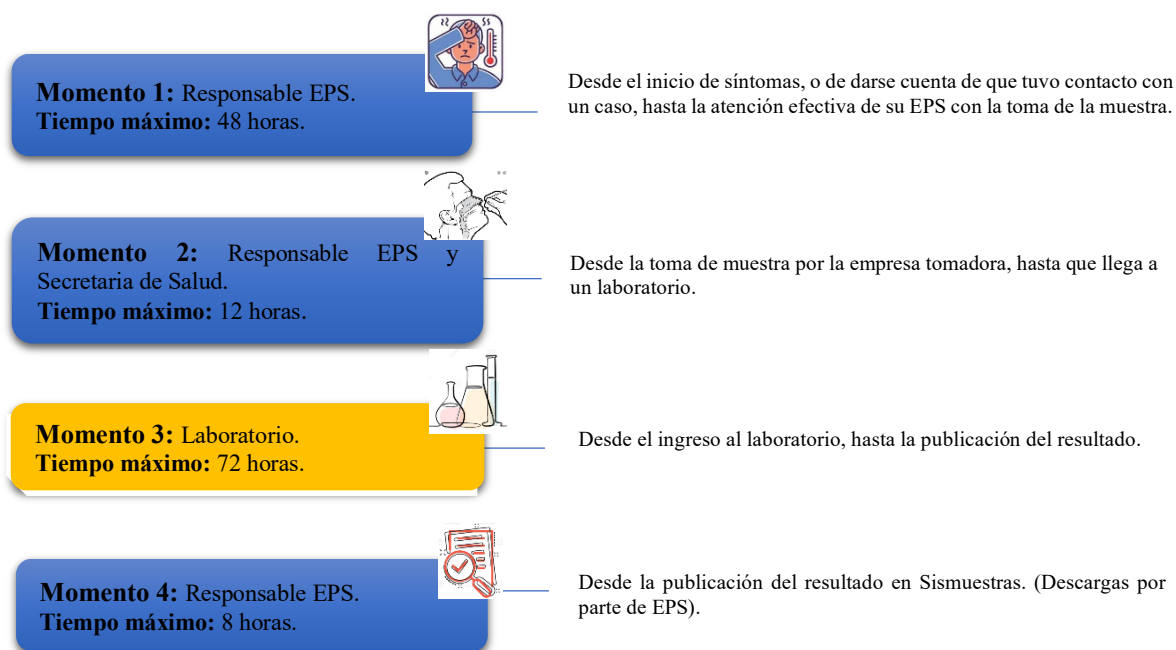


Imagen 1: Momentos de Responsabilidad Distinta.
Fuente: (INS, 2020b).

De acuerdo con lo anterior, se elabora la cadena de valor de cada uno de los momentos, con el fin de generar importancia a cada una, indicando cada uno de esos momentos como producto final. Este proceso está

determinado en el lineamiento desde que se halla el caso positivo hasta la entrega del resultado a las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), (Ruíz, Álvarez, & Girón, 2020).

MOMENTO 1. Desde el Inicio de los síntomas o darse cuenta de que tuvo contacto con un caso positivo, máximo 48 horas.

RESPONSABLE. Las Entidades Promotoras de Salud (EPS) serán las encargadas de tomar las pruebas para diagnóstico COVID – 19, de acuerdo con las particularidades del paciente y su caso clínico, (Ruíz, Ríos, & Fernandez, 2020).

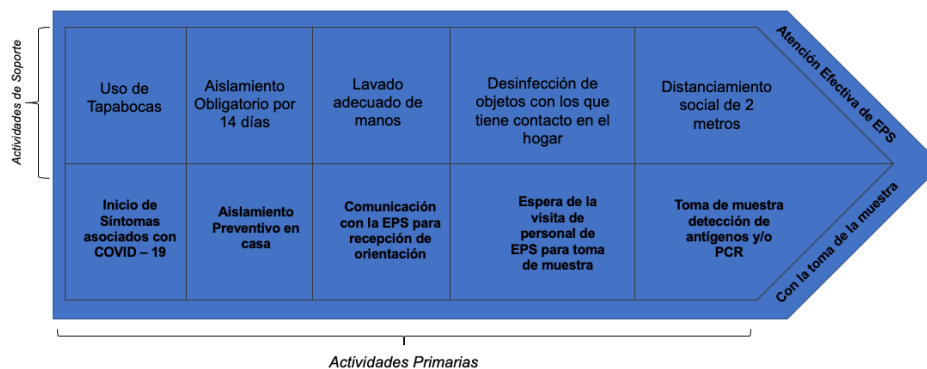


Imagen 2: Momento con Responsabilidad Entidad Promotora de Salud (EPS)
Fuente: Elaboración propia con datos (Gallegos et al., 2020).

En Colombia, a Julio de 2020 se habían practicado 903.255 pruebas moleculares PCR, cifra que ha ido aumentando desde el mes de marzo del mismo año, cuando se realizaban en el país 557 diarias, y actualmente se realizan más de 20.000, de estas cifras, el 12,1 % las realiza el Instituto Nacional de Salud, el 35,5%, las realizan los laboratorios de Salud pública de las regiones, el 53,3% las realizan las Empresas Promotoras de Salud (EPS) y las Administradoras de Riesgos Laborales (ARL), (Rueda, 2020).

Una de las estrategias que implementó la Secretaria de Salud en Bogotá, fue la realización de toma de muestras gratuitas para detección de COVID – 19, esto con el fin de identificar las localidades que reportan mayor número de casos positivos y realizar un seguimiento y corte de la cadena de infección, (Castiblanco, 2020; Ministerio de Salud, 2020a)

MOMENTO 2. Desde la toma de muestra por la empresa tomadora hasta que llega al laboratorio. Máximo 24 horas.

RESPONSABLE. Las Entidades Promotoras de Salud (EPS) serán las encargadas de realizar la toma de las muestras y de enviar a los laboratorios corporativos de acuerdo con el protocolo de Toma de Muestras del Instituto Nacional de Salud, en el cual se describe los métodos que serán fundamentales para la toma, conservación, almacenamiento y transporte de las muestras, para su diagnóstico, confirmación, etc. (Cárdenas et al., 2019).

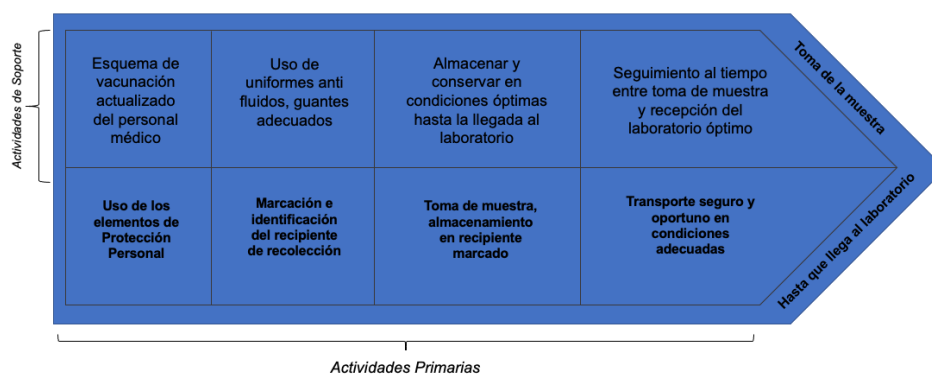


Imagen 3: Momento con Responsabilidad Entidad Promotora de Salud (EPS), toma y transporte de muestras

Fuente: Elaboración propia.

Las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) que realizan la toma de las muestras, deben garantizar el embalaje y las condiciones que se requieren para el envío de las muestras con el “Sistema Básico de Triple Empaque”

los cuales son lineamientos que están previamente descritos en los Lineamientos de Virus Respiratorios del Instituto Nacional de Salud, (Ruíz, Álvarez, et al., 2020)

Las Entidades Promotoras de Salud (EPS) y las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) deberán garantizar todos los insumos requeridos para la toma de la muestra, también debe garantizar que si se requiere realizar transporte terrestre de la muestra, este cuente con autorización para transportar sustancias infecciosas que será emitida por el Ministerio de Transporte, caso contrario, en que deban enviarse por vía aérea, en cuyo caso deberán seguirse las recomendaciones de la Asociación Internacional del Transporte Aéreo de la Organización de Mundial de la Salud. Para la conservación y el almacenamiento de las pruebas, estas deben mantenerse entre -2°C a 8°C y pasadas 48 horas, deberán mantenerse congeladas a -70°C. El tiempo máximo que puede perdurar una muestra en congelamiento es de 72 horas, pero el tiempo recomendable de envío de la muestra es dentro de las 48 horas de haber sido tomada. Se deben respetar estos tiempos, pues de ello depende si la muestra es confiable o inviable (Ruíz, Álvarez, et al., 2020).

MOMENTO 3. Desde el ingreso al laboratorio hasta la publicación del resultado. Máximo 5 días.

RESPONSABLE: Los Laboratorios de Salud Pública (LSP) son los encargados de recopilar, procesar, analizar y divulgar a tiempo los resultados de las pruebas de laboratorio. Actualmente, existen en el laboratorio varias pruebas para la obtención de resultados como lo son Pruebas basadas en la detección de antígenos (RT – PCR) durante los primeros días de una infección 1 – 5 aproximadamente, pruebas basadas en la detección de anticuerpos IgG/IgM a partir del día 10 al 12, después del inicio de síntomas, pruebas rápidas basadas en antígenos o anticuerpos, la cual se realiza la detección de anticuerpos después del día 7 solamente indica contacto previo con el virus, pero no indica la presencia o excreción del virus, pruebas rápidas moleculares que entregan resultados en pocos minutos, (Gallegos et al., 2020).

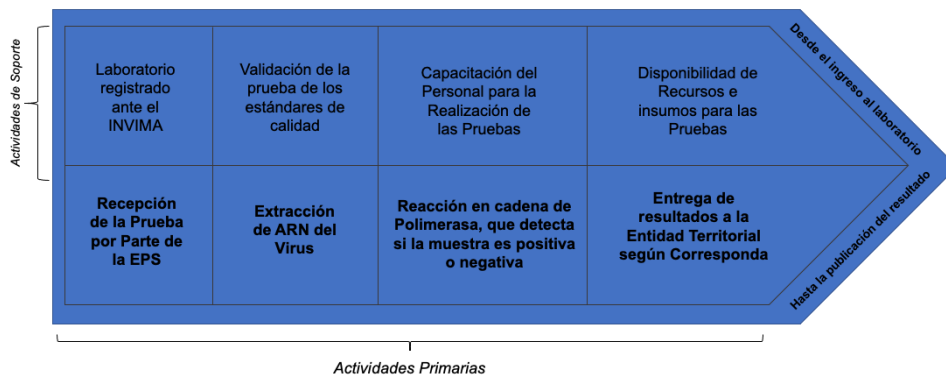


Imagen 4: Momento con Responsabilidad Laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.

Las Secretarías de Salud departamentales, son las encargadas de entregar los resultados obtenidos, y entregarlos al ente que haya realizado la toma de la muestra. Cuando la prueba es realizada en alguno de los laboratorios avalados por el Ministerio de Salud, será la Secretaría de Salud la encargada de entregar a la IPS o a la entidad que haya tomado la muestra dicho resultado, (Ruíz, Ríos, et al., 2020).

Actualmente en Colombia, existen 119 laboratorios avalados para realizar el diagnóstico de SARS COV2, existe cobertura en 25 regiones del país, clasificados en Laboratorios de Servicios (74) con capacidad máxima de procesamiento diario de 38.837 pruebas, Laboratorios Departamentales de Salud Pública (33) con capacidad máxima de procesamiento diario de 8.864 pruebas, Laboratorios de Salud Pública (11) con capacidad máxima de procesamiento diario de 4.980 pruebas, Laboratorios del Instituto Nacional de Salud (1) con capacidad máxima de procesamiento diario de 2.000 pruebas, (Ministerio de Salud, 2020b).

MOMENTO 4. Desde la publicación del resultado en Sismuestras hasta que la IPS realiza la descarga, y entrega diagnóstico a los hospitalizados y pacientes. Máximo 8 horas.

RESPONSABLE. Las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), Entidades Territoriales Privadas o Públicas, deberán inscribirse en la plataforma de Sismuestras, en donde deberá informar de forma personal la información por cada paciente de acuerdo con el aplicativo (INS, 2020a).

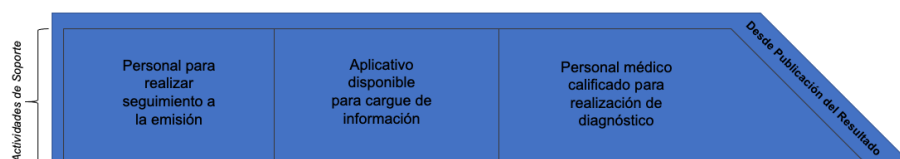


Imagen 5: Momento con Responsabilidad Empresas Promotoras de Salud (EPS).
Fuente: Elaboración propia.

En caso de que el resultado sea Positivo, las Empresas Promotoras de Salud (EPS), Administradoras de Riesgos Profesionales (ARL), medicinas prepagadas, ARL, IPS fijas o que realicen atención domiciliaria realizarán el seguimiento telefónico, con el fin de evaluar el estado de salud, los contactos estrechos y demás requisitos que sean necesarios, con el fin de contener la propagación (Entidad Promotora de Salud, 2020).

3. MARCO DE REFERENCIA.

Para detectar el contagio por COVID-19 la técnica más usada alrededor del mundo es la PCR (Reacción de la polimerasa en cadena), lo que permite que, basándose en pocas cadenas iniciales de ADN, se amplifique a magnas cantidades que pueden ser detectadas mediante fluorescencia. Algunas de las ventajas de la técnica PCR, es que es una técnica establecida, que está siendo utilizada en múltiples laboratorios clínicos por su alta sensibilidad debido al proceso de amplificación exponencial aunque también existen limitaciones de la técnica, entre las cuales se destaca que se requiere personal sumamente especializado para minimizar el riesgo de contaminación, el tiempo de resultado es relativamente largo, puesto que se requieren de 2 a 5 horas para obtener resultados, y es una técnica que puede llegar a ser costosa (Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología, 2020).

De acuerdo con el Ministerio de Salud de Colombia, el incremento de los casos positivos se convierte en una prioridad para la Salud, puesto que los recursos, la disponibilidad del personal, deben ser garantizados con el fin de evitar que el Sistema de Salud colapse, o se agoten los servicios por la saturación de la prestación de los servicios de salud, como ya sucedió en países europeos (Cuevas et al., 2020).

Un panorama claro y significativo de la logística hospitalaria es que ésta incluye el transporte, el inventario, el almacén y el recurso humano médico, etc. y eso conlleva a que se presenten inconvenientes que son comunes en la atención médica, puesto que a medida que se incrementa la demanda de abastecimiento, y la tendencia de la logística tiende a inclinarse hacia abajo y esto incrementa el conflicto de la cadena de suministro (Ramalhinho-Lourenço, 2020).

En Colombia, la logística hospitalaria no es un tema que se toque a fondo, por lo que, en la mayoría de los casos, los gastos se centran en atender otros aspectos diferentes al de brindar una atención oportuna y eficiente y que garantice que se respeten los derechos de los pacientes (Figuroa Geraldino, Wilches Arango, Romero, & Aguirre, 2016). El modelo actual de la red hospitalaria de Colombia debilita aún más el sistema, puesto que los entes de salud no trabajan en red, por lo que no se cuenta con una estructura adecuada de recursos, insumos, capital humano, etc. (Pulgarín Henao & Tabarquino Muñoz, 2016).

4. REVISIÓN DE LITERATURA.

El COVID-19 ha puesto en evidencia la debilidad que tienen los gobiernos en diversos países del mundo en cuanto a los sistemas sanitarios, el apoyo social y las ayudas económicas a la comunidad, como por ejemplo las falencias en cuanto a gestión de pruebas de diagnóstico, camas en hospitales, pruebas diarias, etc. La oferta y la demanda para la atención de la emergencia sanitaria ha sido uno de los detonantes en el colapso de estos sistemas de producción y a pesar de que los gobiernos han sido rápidos en la toma de decisiones en cuanto a la aplicación de políticas, se han producido enormes daños económicos en lo que principalmente se encuentran la pérdida de empleos, disminución de ingresos, y a pesar de que las medidas para mitigar dichos daños han sido

estrictos ya se han generado daños irreversibles y que con el tiempo podrán llegar a ser mayores. (Kontogiannis, 2021).

De acuerdo con esta problemática (Kontogiannis, 2021), creó un modelo con el fin de anticiparse a las pandemias, en el que evaluó diversas variables y las que se ven afectadas unas por otras, por ejemplo, la población infectada, las medidas que se adoptan para evitar el contacto directo, las medidas estrictas de aislamiento, y otras medidas menos severas como lo son el distanciamiento social, evitar lugares públicos, trabajar desde casa, etc. Este estudio demuestra lo que producen los efectos secundarios, es decir, los cierres prolongados ya que estos aumentan el desempleo, la reducción de ingresos en los hogares, lo que produce notablemente la reducción del Producto Interno Bruto de una nación, y esto a su vez, reduce notablemente el presupuesto para las instalaciones hospitalarias, generando colapso en las mismas, y en la atención hospitalaria.

El modelo de (Kontogiannis, 2021) también muestra la importancia de la realización de campañas de información sobre los riesgos que pueden existir en la red clínica en la que se podría compartir a la comunidad resultados epidemiológicos, medidas de prevención, medicamentos, protocolos de vacunación, entre otros, esto permitiría la apertura de negocios, y permitir que la gente regrese a sus labores, manteniendo la salubridad de la comunidad. El autor debate también la prestación de servicios médicos como no pudo cumplir con la demanda de pacientes debido a la creciente oleada de infectados a nivel mundial, lo cual no sólo afecta el ámbito sanitario, sino también el financiero, el orden público, entre otras más, en las que se concluye que los modelos de simulación pueden llegar a favorecer las políticas gubernamentales en las que se puedan adoptar perspectivas de resiliencia que podrían ser útiles, incluso en eventos desconocidos.

En marzo de 2020 Fred Manrique (Manrique et al., 2020), hizo público un artículo en el que se pronosticó el proceso de la pandemia del COVID-19 en Colombia, en el cual se simularon 4 escenarios: susceptibles, infecciosos, recuperados y fallecidos. En este modelo se probaron diferentes R_0 . Los enfermos se valoraron a través de una función exponencial $f(t)=e^{\lambda t}$ en donde se evaluó la ecuación para cada uno de los escenarios y donde se numeraron los días de la pandemia (t) el cual arrojaba el resultado del número de enfermos confirmados correspondientes al número de los días.

Como resultado, se observó que al analizar los varios R_0 , la mejor opción para evaluar los casos en Colombia es el $R_0=1,5$, lo que indica que, si la infección se mantuviera bajo las mismas condiciones del modelo propuesto, en Colombia existirían 4 fechas de casos letales las cuales serían el 4 de abril, 18 de abril, 30 de abril, y el 30 de mayo. En la discusión, una de las estrategias que podrían ser efectivas en la mitigación de la propagación de la infección, son los aislamientos obligatorios, pruebas diagnósticas y filtros de pasajeros internacionales (Manrique et al., 2020).

Desde el punto de vista de ese estudio, puede extenderse la finalidad de esta revisión, pues una de las estrategias presentadas es apuntar a la reducción de infecciones, siguiendo el lineamiento de las pruebas diagnósticas a tiempo con el fin de minimizar el pico de infectados.

El uso de modelos matemáticos para realizar simulaciones de enfermedades infecciosas ha sido de gran apoyo para la toma de decisiones y poder tomar medidas y controles en la eliminación o mitigación de las enfermedades infecciosas, el Ingeniero Jorge Díaz (Díaz-Pinzón, 2020b) realizó un modelo matemático de Brown en donde concluyó que para finalizar el mes de Agosto, los infectados en Colombia a causa del COVID-19, iban a hacer alrededor de 69000, contemplando un 58,8% serían hombres y 41,1% serían mujeres, y determinó que se debían mantener las cuarentenas obligatorias para detener la propagación del virus.

El aumento de contagios en el país aumenta la necesidad de camas UCI, y al mismo tiempo aumenta el riesgo que el personal médico se contagie, el Ingeniero Jorge Díaz (Díaz-Pinzón, 2020a) realizó un estudio comparativo entre los casos presentados durante las cuarentenas obligatorias entre el 25 de marzo y 26 de abril y durante la apertura gradual de sectores en donde utilizó información del Instituto Nacional de Salud (INS). Durante el periodo anteriormente mencionado se presentaron 5002 contagios y durante la apertura gradual correspondiente al periodo desde el 27 abril al 29 de mayo, fue de 21390 contagios. Ambos lapsos de tiempo corresponden a 33 días consecutivos con el fin de garantizar el mismo tiempo para los dos contextos.

Una vez aplicado el análisis estadístico aplicando la prueba t-student, se concluye que los contagios aumentaron con la apertura gradual de la economía, lo que evidencia que la estrategia a seguir es continuar con los aislamientos selectivos, por zonas o de toda la población, y también aumentar la capacidad de realización de pruebas diagnósticas, y reducir la velocidad de contagio de la infección a través de realización de pruebas

rápidas, instalación de infraestructura nueva de laboratorios en donde se permita la identificación pronta de los casos y mitigar la propagación del virus hasta tener la vacuna (Díaz-Pinzón, 2020a).

El COVID-19 ha cambiado la cotidianidad en la vida a nivel mundial, comenzando desde el punto de vista en que miles de labores han iniciado sus actividades desde la virtualidad, pero cabe resaltar que muchas de estas actividades, no pueden ejecutarse desde el hogar, como lo son las labores de la construcción, cuyo sector se ha visto altamente afectado por los efectos del virus y como es requerido que se adopten precisas medidas de bioseguridad con el fin de evitar el contagio, la regresión lenta del sector a la normalidad ha sido disminuida ya que ha sido un reto la adaptación de los trabajadores de la construcción desarrollar iniciativas que permitan el regreso de los trabajadores a sus labores, y que en esa medida se disminuya la propagación de la enfermedad en la realización de las actividades, es por eso que Felipe Araya (Araya, 2021) realizó un Modelo de Dinámica de Sistemas, en el que se basó en seis escenarios en los cuales se describen las formas comunes en las que los trabajadores de la construcción se organizan para la realización de su trabajo. Por ejemplo, en el escenario 1, se modeló el turno por un día laboral, es decir, antes de que se propagara el virus a nivel mundial, en los escenarios 2 a 6 en donde se modela el regreso de los trabajadores en dos turnos (día y noche) en donde se evidencian porcentajes de personal sano a lo largo del proyecto, comparado con el escenario 1.

Según Felipe Araya (Araya, 2021) a lo largo del modelo los escenarios muestran que, al tener diversos turnos con igual número de trabajadores, puede llegar a ser una alternativa para los directores de obra, ya que pueden regresar a sus actividades dentro de la pandemia COVID-19 que se vive actualmente, y contar con personal sano y disponible para el desarrollo de las actividades de la construcción y que las mismas, puedan llegar a término a tiempo y dentro de los presupuestos programados inicialmente.

Felipe Araya (Araya, 2021) busca reforzar los estudios que se han realizado hasta el momento, con el fin de seguir buscando alternativas viables en la lucha para tratar el COVID-19 en los sectores de la construcción. Dentro de este estudio, el autor reconoce una limitación el tener que laborar en horarios nocturnos, ya que esto afecta negativamente a los trabajadores que no están acostumbrados a este ritmo, pero cabe resaltar que el uso de turnos nocturnos beneficia positivamente el freno del contagio de COVID-19 en el sector de la construcción.

Con la llegada del COVID-19, en diversos países se ha evidenciado la inestabilidad que tienen los gobiernos para atender la crisis sanitaria, la escasez de apoyo social y económica a la población afectada, Partiendo del caso de la importancia de la detección temprana del virus con el fin de lograr su mitigación, se realiza este estudio para la ciudad de Armenia – Quindío, en donde se realiza un modelo matemático SIR para la identificación de la demora en la cadena logística de la realización de pruebas COVID-19 y establecer el efecto de esos retardos en los indicadores de la propagación de la epidemia.

5. METODOLOGÍA.

La dinámica de sistemas es una metodología cuyo objetivo principal es construir modelos dinámicos, los cuales están basados en opiniones de expertos y la simulación a través del computador, la cual es actualmente una herramienta que cubre un gran campo de situaciones, desde el interior de las empresas, hasta modelos sociales, este método, además de presentar texto, presenta variables gráficas de los temas que se están estudiando (Aracil Santonja, 1986).

Se identificó que la Ciudad de Armenia – Quindío es una de las poblaciones con gran número de casos COVID-19, por lo que se procedió a buscar información de las pruebas tomadas diariamente en la ciudad de Armenia, con datos recolectados del Instituto Nacional de Salud se realizó una simulación del comportamiento de la tardanza de la realización de pruebas, en donde se realizaron estimaciones sistemáticas del R_t . La proyección puntualiza los contagios de una población de susceptibles (S) y que a partir de un infectado (I), se va propagando la infección a cierta velocidad y pasa a contagiar más individuos, y que después de cierto periodo de tiempo pasan a ser recuperados (R) o fallecidos lo que indica que estas personas ya no contagiarán más, por lo que los casos susceptibles se van minimizando hasta que no sucedan más casos (Maldonado et al., 2020).

Para analizar el efecto de los retardos asociados al procesamiento de muestras para el diagnóstico del COVID-19 sobre la propagación de la epidemia, usando a través de la dinámica de Sistemas identificar una visión sistémica de la cadena de valor asociada al procesamiento de muestras para el dictamen del COVID-19 para la ciudad de Armenia – Quindío, teniendo en cuenta que día a día vienen aumentando el número de casos positivos, y que con el resultado oportuno de las pruebas, podrían controlarse los casos sintomáticos con el rastreo adecuado, por lo que se decidió hacer un modelo de dinámica de sistemas en el que se permita estudiar el

impacto de la tardanza en la realización de las pruebas de diagnóstico COVID – 19 en la ciudad de Armenia – Quindío, cabe resaltar que este modelo puede tomarse como una herramienta de ayuda para la toma de decisiones.

Unidades utilizadas en el modelo de simulación.

Rt: es el número de casos en promedio que pueden ser causados por una persona infectada, por lo tanto, es deseable que se mantenga por debajo de 1,0. Para la estimación nacional del R_t no se reportan intervalos de confianza. (INS, 2020c).

Modelo Matemático SIR: (Susceptible, Infectado, Recuperado) que parte de un infectado, la velocidad del contagio y el periodo de tiempo de la enfermedad activa, los que se recuperan o fallecen y ya no se contagiarán más. (Maldonado et al., 2020).

Tiempo de Toma de Muestra: tiempo estimado de obtención de resultado diagnóstico COVID – 19.

Tiempo de Laboratorio: tiempo en que tarda la muestra en el laboratorio.

Capacidad de Muestras Diarias: número de muestras límite que son capaces de realizar en un día en Armenia – Quindío.

Diagrama causal del modelo de momentos clave con responsabilidades distintas.

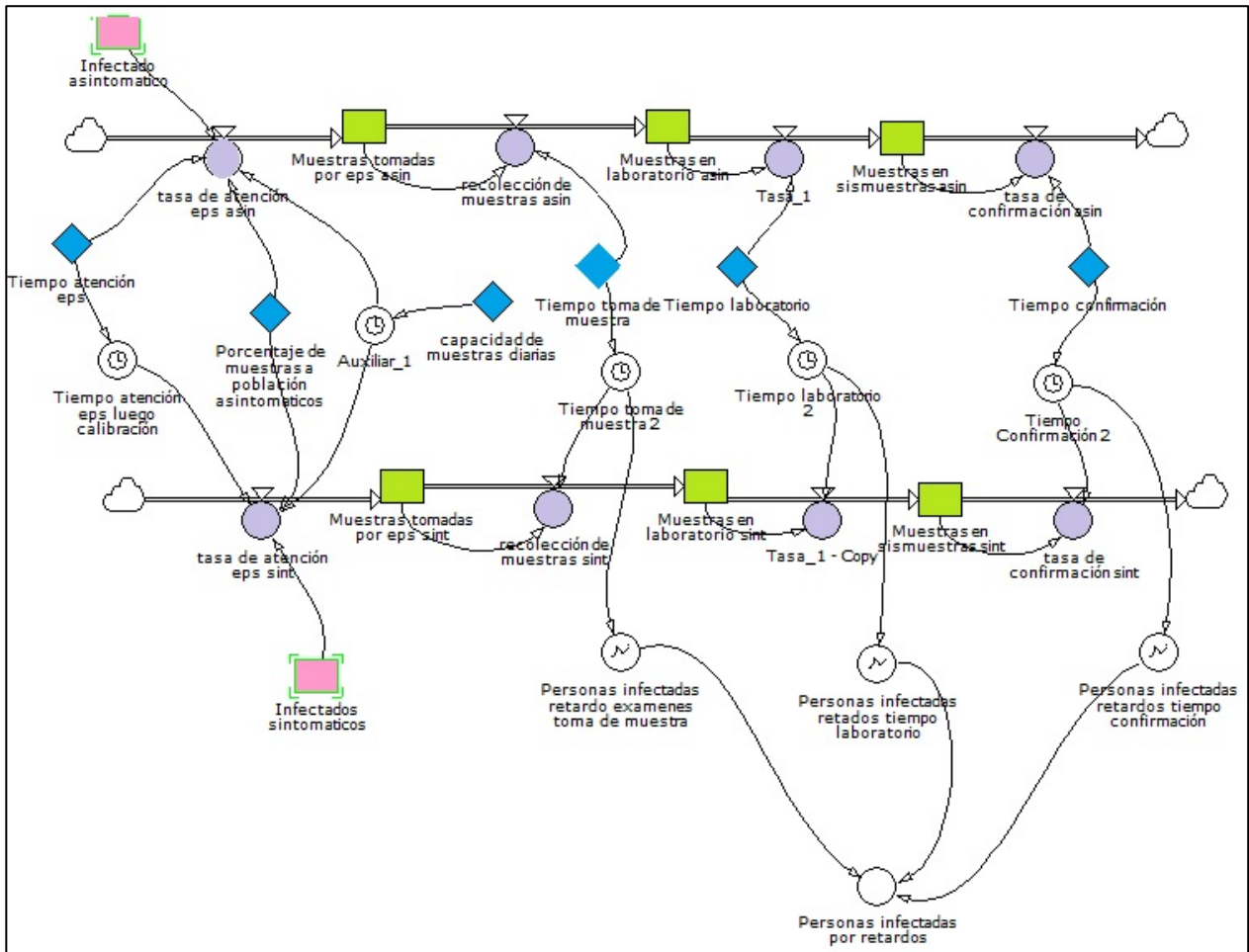


Imagen 6: Modelo general de simulación de muestras.
Fuente: Elaboración propia.

Según los nodos del modelo que se encuentran en la Imagen 6, se ajustó de acuerdo con los momentos de responsabilidad distinta, en los que se tomaron datos de personas asintomáticas y sintomáticas.

Se evidencia dentro del modelo, la capacidad de las muestras diarias que son realizadas en Armenia, lo cual permite acercar el resultado un poco más a la realidad y contrarrestar el sistema.

Nodo 1: tasa de atención de EPS.

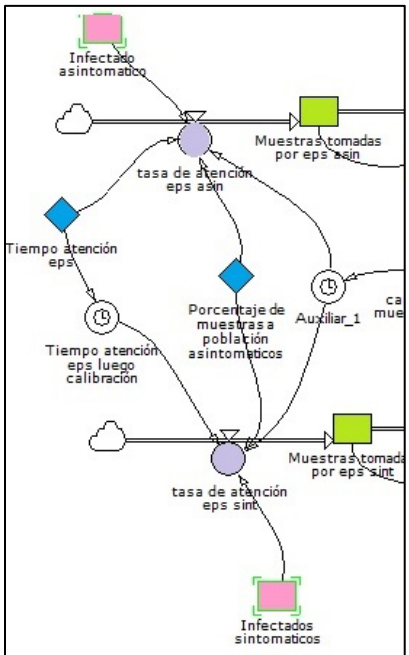


Imagen 7: Momento 1.
Fuente: Elaboración Propia.

En la actualidad, las EPS solamente realizan pruebas a personas que presentan síntomas gripales, por lo que las tasas de atención de infectados asintomáticos son difíciles de rastrear, por lo que el porcentaje de este nodo es 0,67%.

Nodo 2: Recolección de muestras.



Imagen 8: Momento 2.
Fuente: Elaboración Propia

Este ciclo se retroalimenta activamente, puesto que, si la EPS decide realizar pruebas a personas sintomáticas y asintomáticas, la capacidad de muestras diarias podría aumentar considerablemente, sobrepasando dicho valor, que para la ciudad de Armenia es de 4157 muestras al día, lo que ocasiona que los tiempos de toma de muestras sean tardíos y aumente el número de infectados por el retardo en la toma de las muestras diagnóstico.

Nodo 3: Tiempo de Laboratorio.

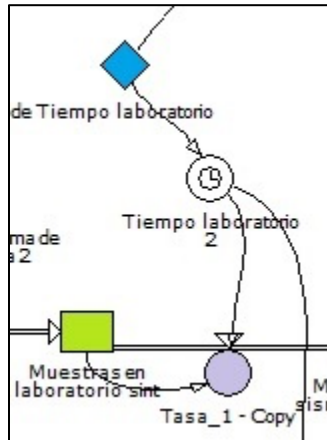


Imagen 9: Momento 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Este ciclo se retroalimenta con el Nodo 2, puesto que entre más muestras sean recolectadas ya sean sintomáticas o asintomáticas, el tiempo de espera también puede aumentar y esto también podría generar retrasos en la publicación de resultados de diagnóstico a pacientes, lo que conlleva a que no se realice un rastreo de la enfermedad a tiempo a los casos estrechos relacionados con el paciente infectado.

Nodo 4: Tiempo de confirmación.

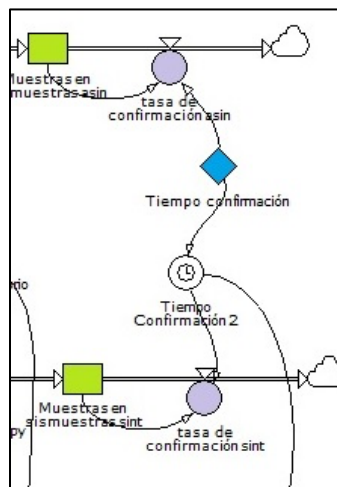


Imagen 10: Momento 4.
Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de confirmación en el modelo, depende de los nodos 1, 2, y 3, de los cuales podrían tardar más de las 72 horas establecidas, lo que conlleva a que las personas infectadas aumenten considerablemente, ya sean asintomáticas y sintomáticas, siendo estas últimas de mayor gravedad, puesto que si se agravan sus síntomas aumenta la ocupación UCI, y en su defecto, aumenta el nivel de muertes en el país.

6. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MODELO.

Para la realización del análisis de este modelo, se usaron variables reales de la ciudad de Armenia, Quindío – Colombia, en donde también al realizar un análisis de la cadena de valor de los momentos con responsabilidades distintas, se pudo estimar los pacientes en UCI, los muertos diarios, y los infectados acumulados que podrían tenerse a Julio 2021.

A continuación, se muestran gráficas de dichas estimaciones en las que a simple vista se observa su comportamiento y la importancia de tener una capacidad de tiempos de toma de muestras eficaces, en las que se garanticen a los pacientes que, al haber tenido un diagnóstico temprano, puedan aislarse de inmediato y así mismo sus contactos estrechos, con el fin de frenar la propagación, y el aumento de capacidad UCI y de muertos a nivel nacional.

PACIENTES EN UNIDADES DE CUIDADO INTENSIVO (UCI) A JULIO 2021.

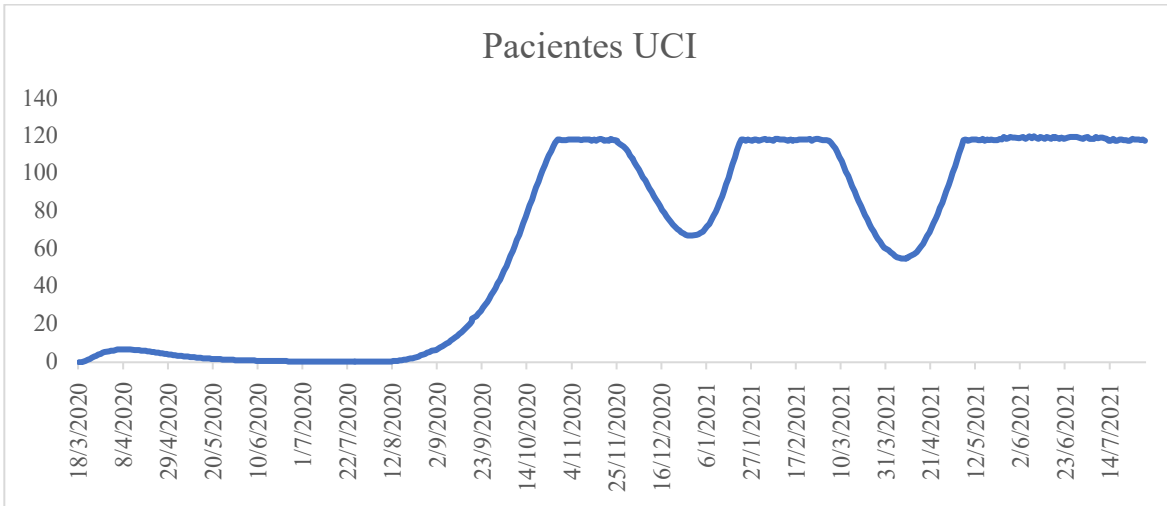


Imagen 11: Número de Pacientes en UCI a Julio 2021.
Fuente: Elaboración Propia

En la imagen 11, se observa la capacidad de pacientes que requerirán Unidades de Cuidados Intensivos para la atención del COVID-19, se puede observar que el pico que se vive actualmente se podría mantener, lo que parte del comportamiento general de la comunidad y de las leyes nacionales impuestas.

MUERTOS A CAUSA DE COVID-19 A JULIO 2021.



Imagen 12: Número de muertos por día Julio 2021.
Fuente: Elaboración Propia

En la imagen 12, se evidencia considerablemente el aumento de muertos a causa del COVID-19, causado quizá por la tardanza en la obtención de resultados a tiempo de diagnóstico, del caso omiso a las cuarentenas distritales y nacionales decretadas por los gobiernos y la necesidad de las personas del común por retomar la realización de sus actividades diarias en la medida de buscar el sustento diario.

INFECTADOS ACUMULADOS A JULIO 2021.

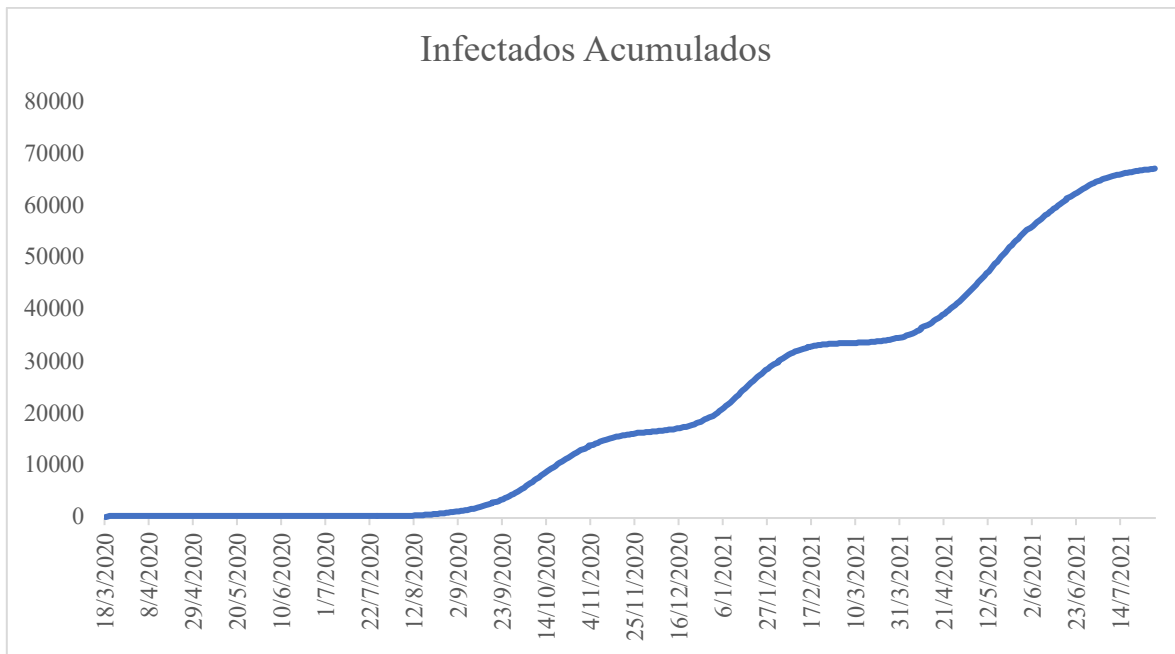


Imagen 13: Número de Infectados a Julio 2021
Fuente: Elaboración Propia

Los infectados de acuerdo con el modelo, también irán aumentando con el pasar de los días, aumentando de igual manera que el número de muertos, pero a diferencia de que estos pacientes sean internados en UCI's, puesto que esta cifra se mantenía en el tiempo, podría deberse a que el Gobierno Nacional irá realizando la vacunación paulatina de la población y es esperada que se continúe con las etapas pactadas que, según el Plan de Vacunación Nacional, para el mes de Julio, se espera que vaya en la etapa III de la fase I.

7. CONCLUSIONES.

- Con base a las estimaciones realizadas en el modelo de dinámica de sistemas, se puede realizar una apreciación del comportamiento del COVID-19 en los próximos meses, de acuerdo con el comportamiento de la ciudadanía, y la importancia de tomar decisiones previas a fechas especiales y/o eventos próximos, y la equivocación del tomar acciones después, cuando es tarde para frenar los posibles picos que puedan presentarse.
- La rapidez de conocer el diagnóstico de COVID-19, influye en el tomar acciones inmediatas o no para contrarrestar el contagio, puesto que entre más rápido sea el diagnóstico, se podrán tomar las acciones necesarias para los pacientes positivos y sus contactos.
- La sistemática de la dinámica de sistemas no es una herramienta precisa, puesto que predice el análisis de comportamientos de las interacciones entre los nodos y es de gran utilidad como instrumento de aprendizaje en la manera en como los ciudadanos podemos influir en nuestro hábitat.
- La disminución del tiempo de toma de muestras influye severamente en la disminución de casos positivos, puesto que se tiene un control mayor a los contactos y por lo tanto una disminución en la rapidez del contagio.
- Esta investigación puede ampliarse incluyendo el tema de la vacunación, con el fin de conocer los periodos de tiempo en que se podría lograr la inmunidad del rebaño, teniendo en cuenta que las dosis aplicadas pueden no ser suficientes para la población, la prioridad de la población en cada una de las etapas.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Aguilar, F. (2020). Desafíos para el manejo y detección de pacientes con COVID-19 en Latinoamérica. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque*, 6(1), 63–70. <https://doi.org/10.37065/rem.v6i1.436>
- [2] Aguilar, P., Valencia, Y., Quiroz, C., Valencia, E., De León, J., & Pareja, A. (2020). *Pruebas diagnósticas para la COVID-19 : la importancia del antes y el después Diagnostic tests for COVID-19 : the importance of the before and the after*. 20(2).
- [3] Aracil Santonja, J. (1986). *Introducción a la dinámica de sistemas / Javier Aracil*. Recuperado de <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/bitstream/handle/123456789/458/introduccionALaDinamicaDeSistemas.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.cenpat-conicet.gob.ar:8081/xmlui/bitstream/handle/123456789/458/introduccionALaDinamicaDeSistemas.pdf?sequence=>
- [4] Araya, F. (2021). Modeling working shifts in construction projects using an agent-based approach to minimize the spread of COVID-19. *Journal of Building Engineering*, 41(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102413>
- [5] Cárdenas, O., Fuya, P., Bermúdez, A. J., Llerena, C., Duarte, C., Ayala, M., ... Ángel, M. (2019). *Manual de procedimientos para la toma, conservación y envío de muestras al Laboratorio Nacional de Referencia*.
- [6] Castiblanco, C. (2020). ¿Quiénes pueden tomarse prueba Covid-19 en puntos de testeos aleatorios? *bogota.gov.co*. Recuperado de <https://cutt.ly/WfPfwQE>
- [7] Cuevas, L., Ayala, J. C., Velásquez, O. A., Navarro, J. A., González, L. G., Zurita, N., ... Bonilla, G. (2020). Recomendaciones para el manejo de los pacientes quirúrgicos urgentes durante la pandemia COVID-19 TT - Recommendations for the management of urgent surgical patients during the COVID-19 pandemic. *Rev. colomb. cir.*, 35(2), 143–152. Recuperado de <https://url2.cl/UIpg8>
- [8] Díaz-Pinzón, J. E. (2020a). *Estudio comparativo entre el contagio durante la cuarentena obligada por el COVID-19 y el contagio durante la apertura gradual y controlada para algunos sectores de la economía en Colombia*. 29, 10–14.
- [9] Díaz-Pinzón, J. E. (2020b). *Uso de modelo predictivo para la dinámica de transmisión del Covid-19 en Colombia*. 29(1), 10–14.
- [10] Entidad Promotora de Salud, E. (2020). Recomendaciones para solicitar resultados Covid 19. □□□□□□.
- [11] Figueroa Geraldino, L. I., Wilches Arango, M. J., Romero, D., & Aguirre, S. (2016). Análisis de la Logística Hospitalaria aplicada en las Entidades de Salud de Nivel 3 y 4 en la ciudad de Barranquilla. *Scientia et Technica*, 21(4), 307. <https://doi.org/10.22517/23447214.11391>
- [12] Gallegos, S. E., Mojica, J. A., Meza, M. P., Ríos Hincapié, C. Y., Álvarez, V. H., Quiroga, M., ... Milena, C. C. (2020). LINEAMIENTOS PARA EL USO DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS DE LABORATORIO DURANTE LA PANDEMIA DEL SARS-COV-2 (COVID-19) EN COLOMBIA Ministerio de Salud y Protección Social Bogotá, abril de 2020. *Ministerio de Salud de Colombia*, 2(1), 1–254. <https://doi.org/MTT2-PRT-0014>
- [13] Galván, G., & Miranda, P. (2020). ¿Porqué es importante la aplicación de pruebas para combatir el coronavirus? *EL UNIVERSAL*. Recuperado de <https://url2.cl/2fNb6>
- [14] INS, I. N. D. S. (2020a). *Instructivo Vigilancia COVID - 19. 2020*, 1–29.
- [15] INS, I. N. D. S. (2020b). Momentos Clave.
- [16] INS, I. N. D. S. (2020c). Número reproductivo efectivo Rt Nacional.
- [17] Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología. (2020). Técnicas y sistemas de diagnóstico para COVID-19 : clasificación , características , ventajas y limitaciones Diagnóstico de COVID-19 SARS-CoV-2. *NanoB2A - ICN2*, 1–10. Recuperado de <https://url2.cl/IzUf7>
- [18] Kontogiannis, T. (2021). A qualitative model of patterns of resilience and vulnerability in responding to a pandemic outbreak with system dynamics. *Safety Science*, 134(October 2020), 105077. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105077>
- [19] Maldonado, L., Pineda, J. C., Cotes-cantillo, K., Alvis, N., Camerano, R., Chaparro, P., ... Vargas, G. (2020). *Boletín Técnico Interactivo 16*.
- [20] Manrique, F., Agudelo, C., González, V., & Gutiérrez, O. (2020). Modelo SIR de la pandemia de Covid-19 en Colombia. *Rev. Salud Pública*, 22, 1–9.

- [21] Ministerio de Salud. (2020a). EPS e IPS deben tomar muestras de covid. Recuperado de Boletín de Prensa # 84 de 2020 website: <https://url2.cl/fSgD8>
- [22] Ministerio de Salud. (2020b). *Laboratorios que están avalados para realizar Diagnóstico de SARS-COV2*. (1), 2020. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/laboratorios-pruebas-covid-19.pdf>
- [23] Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Colombia confirma su primer caso de COVID-19. Recuperado de Colombia confirma su primer caso de COVID-19 website: <https://url2.cl/xIMwP>
- [24] Palacios Cruz, M., Santos, E., Velázquez Cervantes, M. A., & León Juárez, M. (2020). COVID-19, a worldwide public health emergency. *Revista Clínica Española (English Edition)*, (xx). <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2020.03.001>
- [25] Pulgarín Henao, D. M., & Tabarquino Muñoz, R. A. (2016). Análisis del diseño de una red integrada de servicios de salud. *Semestre Económico*, 19(40), 175–212. <https://doi.org/10.22395/seec.v19n40a7>
- [26] Ramalhinho-Lourenço, H. (2020). Logística y la crisis de la COVID-19. Recuperado de Universitat Pompeu Fabra Barcelona website: <https://url2.cl/6GRj2>
- [27] Rueda, J. P. (2020). Resultado de la prueba del covid en Colombia tarda en promedio 10 días. *Portafolio.co*. Recuperado de <https://cutt.ly/rfPdpOI>
- [28] Ruíz, M. C., Álvarez, V. H., & Girón, S. L. (2020). *Lineamientos para la gestión de muestras durante la pandemia del SARS-CoV-2 (COVID-19) en Colombia*. 2, 1–9.
- [29] Ruíz, M. C., Ríos, J., & Fernandez, J. A. (2020). Lineamientos para la gestión de muestras durante la pandemia del SARS-CoV-2 (COVID-19) en Colombia. *Ministerio de Salud y Protección Social*, 1(1), 1–14. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/VSP/psps02-lineamientos-gmuestras-pandemia-sars-cov-2-col.pdf>
- [30] Urbano Arcos, J. F., Ruíz Ponce de León, I., Oliveros, O. A., Mejía Rivera, L. F., & Rojas Hernández, J. P. (2020). *Historia de una Pandemia desde China hasta Colombia*. 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.18041/2665-427X/ijeph.2.6203>