

**MODELADO DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE SALUD BASADO EN
EVENTOS DISCRETOS. CASO COVID-19.**

Yuriam Katherine Zambrano Villamizar

Pamplona, Norte de Santander

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería de Sistemas

Junio 2021

**MODELADO DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE SALUD BASADO EN
EVENTOS DISCRETOS. CASO COVID-19.**

Yuriam Katherine Zambrano Villamizar

Director:

PhD Carlos Arturo Parra Ortega

Pamplona, Norte de Santander

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería de Sistemas

Junio 2021

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi profunda gratitud al profesor Carlos Arturo Parra Ortega, por su paciente orientación, su entusiasta aliento durante todo mi proceso de formación y en este trabajo de investigación. También me gustaría agradecer a la Dra. Jenny Paola Pedraza Rivera por sus consejos y colaboración en la realización del análisis de casos para mi proceso.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPITULO I.....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	27
<i>1.2.1 Objetivo General.....</i>	<i>27</i>
1.3 ALCANCE.....	28
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	28
CAPITULO II.....	30
2. MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 ANTECEDENTES.....	30
<i>2.1.1 Estudios de simulación para la prevención, control y tratamiento de enfermedades. .30</i>	<i>30</i>
<i>2.1.2 Estudios de simulación para la planificación y gestión de recursos sanitarios.....</i>	<i>31</i>
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ENFERMEDAD.....	34
<i>2.2.1 Los virus según su genoma.....</i>	<i>35</i>
2.3 SIMULACIÓN POR EVENTOS DISCRETOS.....	38
CAPITULO III.....	40
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA QUE SE VA A MODELAR.....	40
3.2 PROCESO PRINCIPAL.....	44
3.3 ADMISIÓN.....	50
3.4 ELEMENTOS PRESENTES EN LOS SISTEMAS DE ATENCIÓN.....	51
3.5 VARIABLES VARIABLES QUE SE CONSIDERAN QUE INTERVIENEN EN EL TIEMPO DEL MODELO.....	56
3.6 INDICADORES.....	59
CAPITULO IV.....	61
4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN SOFTWARE ARENA.....	61

4.1 SIMULACIÓN.....	61
4.1.1 <i>Software Arena</i>	62
4.2 ELEMENTOS DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN EN ARENA.....	63
4.3 CONSIDERACIONES DEL MODELO.....	65
4.4 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ATENCIÓN A PACIENTES COVID-19.....	66
CAPITULO V.....	82
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
5.2 ANÁLISIS DE REPORTE DE SALIDA.....	94
CAPITULO VI.....	102
6. RESULTADOS DEL MODELO ALTERNATIVO.....	102
6.1 CONJUNTO DE RECURSOS DE MUESTRAN.....	102
CAPITULO VII.....	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
CONTRIBUCIONES.....	117
PERSPECTIVAS.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	119

Índice de Imágenes

Imagen 1 Mapa interactivo.....	17
Imagen 2 Camas UCI.....	53
Imagen 3 Respiradores Mecánicos.....	54
Imagen 4 Personal Médico (Organización Mundial de la Salud. (s.f).).....	55
Imagen 5 Módulos del proceso básico.....	63
Imagen 6 Modelo base.....	66
Imagen 7 Creación de la entidad.....	67
Imagen 8 Inicio del proceso.....	68
Imagen 9 Asignación para atributos y variables.....	69
Imagen 10 Variable Índice.....	70
Imagen 11 Atributo Probabilidad de hospitalización.....	71
Imagen 12 Hora de llegada.....	71
Imagen 13 Valoración.....	72
Imagen 14 Creación del proceso Valoración.....	73
Imagen 15 Módulo decide Resultado.....	74
Imagen 16 Proceso Casa.....	75
Imagen 17 Salida del sistema.....	76
Imagen 18 Decide Resultado condición verdadero.....	76
Imagen 19 Decide Ruta Ir a UCI u Hospitalización.....	77
Imagen 20 Ingreso UCI.....	78
Imagen 21 Desenlace.....	79
Imagen 22 Nueva Valoración.....	80

Imagen 23 Salida de Hospitalización.....	80
Imagen 24 Fatalidad.....	81
Imagen 25 Run Setup.....	83
Imagen 26 Pacientes que ingresaron al sistema en una replicación.....	84
Imagen 27 Primer filtro por decisión simulada llamada Resultado.....	84
Imagen 28 Segundo filtro por decisión simulada llamado Ir a UCI.....	85
Imagen 29 Entidades en Proceso UCI.....	85
Imagen 30 Desenlace condición falsa.....	86
Imagen 31 Ingreso a Hospitalización.....	87
Imagen 32 Manejo en casa.....	88
Imagen 33 Colapso del sistema en la cuarta replicación.....	93
Imagen 34 Análisis por paciente.....	95
Imagen 35 Análisis por proceso.....	97
Imagen 36 Colas en los procesos.....	98
Imagen 37 Estadísticas asociadas al uso de Recursos.....	99
Imagen 38 Tiempo en el sistema para pacientes con deceso, hospitalización y los que salen a la casa.....	101
Imagen 39 En la siguiente imagen podremos apreciar el aumento de los recursos camas y respiradores de la siguiente forma:.....	103
Imagen 40 Estadísticas por paciente.....	105
Imagen 41 Procesos.....	109
Imagen 42 Pacientes atendidos.....	111
Imagen 43 Colas.....	112

Imagen 44 Uso de Recursos.....	113
Imagen 45 Promedio de tiempo para los pacientes.....	114

Índice de Tablas

Tabla 1 Evolución de afectación de los municipios en Colombia por el Covid-19.....	16
Tabla 2 Tabla 2 Municipios de Colombia según su afectación por el Covid.....	18
Tabla 3 Hospitalización por rango de edades del país.....	22
Tabla 4 Cuidados Intensivo.....	23
Tabla 5 En aislamiento.....	25
Tabla 6 Resumen de algunos trabajos de simulación de carácter en salubridad.....	31
Tabla 7 Resumen de revisión bibliográfica desde el tipo de aplicación.....	32
Tabla 8 Línea de tiempo del coronavirus en el cuerpo.....	36
Tabla 9 Distribución de los tiempos de llegadas supuestos para simular dos picos al año.....	45
Tabla 10 Probabilidad de hospitalización por grupo etario considerados para el modelo:.....	48
Tabla 11 Niveles de prioridad en triage.....	50

Índice de Gráfica

Grafica 1 Municipios de Colombia según su afectación por el Covid-19.....	21
Grafica 2 Hospitalización por rango de edades del país.....	23
Grafica 3 Cuidados Intensivos por rango de edades.....	24
Grafica 4 En aislamiento.....	26
Grafica 5 Diagrama de atención.....	43
Grafica 6 Probabilidad de hospitalización por grupos de edad.....	47
Grafica 7 Comportamiento de la Cola en UCI para la simulación.....	88
Grafica 8 Comportamiento de la Cola en Hospitalización.....	89
Grafica 9 Tiempo entre llegadas.....	90
Grafica 10 Cola en Valoración.....	91
Grafica 11 Estado de colas en la cuarta replicación.....	92
Grafica 12 Picos de colas.....	92
Grafica 13 Utilización programada de porcentajes.....	100
Grafica 14 Cola UCI.....	104
Grafica 15 Cola Hospitalización.....	104

RESUMEN

Un sistema de salud es una estructura social que está constituida por un conjunto de personas y acciones destinados a mantener y mejorar la salud de la población. El covid-19 expuso el estado del sector salud, debido a la demanda del servicio y los problemas que presentan los pacientes con la enfermedad. En esta investigación se estudió el comportamiento del sistema de salud de mediana complejidad para atender pacientes covid-19 por medio de un modelo de eventos discretos evaluando el comportamiento del sistema de salud analizando un flujo discreto de pacientes diagnosticados con el virus y los requerimientos que la población requiere para la atención. Se utilizó el software de simulación Arena v16 para estudiar el sistema y los procesos por lo que permite contextualizar el flujo de la enfermedad y su manejo en términos de eventos que pueden suceder durante el modelado y cuyo impacto afecta a los pacientes como a los otros componentes del sistema. El propósito de medir el desempeño del sistema en cuanto a atención de pacientes y la utilización de recursos, es con el fin de proponer una acción que conlleve a mejorar los indicadores de calidad del servicio.

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

1.1 Descripción del problema

Los indicadores de calidad en los servicios de salud en la actualidad es un aspecto fundamental para las instituciones de salud y los profesionales que laboran en ella, puesto que se han convertido en un requisito para cumplir con la legislación actual, garantizar el funcionamiento de la economía y la competitividad institucional en la coyuntura actual. La incorporación y aplicación de tecnologías de información y comunicación (TIC) es una ventaja competitiva para cualquier organización de salud o instituciones estatales relacionadas con la salud pública, ya que facilita la mejor gestión de recursos y procesos garantizando la obtención de mejores resultados que satisfagan las necesidades de los pacientes.

En una institución de salud se aprecia la necesidad de mejorar la calidad del servicio de los pacientes que requieran atención de enfermedades respiratorias asociadas a Coronavirus SARS-COV-2 u otras formas de influenza (principalmente COVID-19) . De acuerdo con el Ministerio de Salud, abril del 2021 fue uno de los meses más complejos con respecto a la ocupación de camas de unidades de cuidados intensivos, pues la cifra llegó a 80,49 % en todo el país. Esto quiere decir, que es un gran incremento en el transcurso del mes, pues a principio era del 61,79 %. Departamentos como Casanare y Meta anunciaron que la ocupación de camas UCI llegó al 100 %, debido al aumento de casos graves de covid-19(Ocupación de camas UCI llega al 100% en Casanare según la gobernación, 2021). En Bogotá la ocupación de Camas UCI está por encima del 90 % según cifras de Saludata, la capital aumentó su capacidad en UCI cerca de un 170 %, puesto que en abril del año 2020 la capacidad era de 935 unidades de cuidados intensivos

y ahora son 2.538 sin embargo la ocupación del 90% deja en evidencia lo peor de los picos de contagio(Ocupación de camas UCI en Bogotá está en 96,4%, 2021). Se necesita de la aplicación de estudios estadísticos y tecnologías que permitan gestionar una mejor calidad del servicio ofrecido, colaborando en la misión social vinculada a la salud.

El Gobierno nacional diseñó un mapa con base en el número de contagios de Coronavirus (Coronavirus Colombia: mapa de clasificación por municipios según la afectación, 2020). En la siguiente tabla; evolución de la afectación de municipios por el covid tomada del registro que El Ministerio de Salud publicó en su página web tableros de control SegCovid19 la propagación del coronavirus se ha dado en velocidades diferentes en los municipios del país tabla 1 (Evolución de afectación de los municipios por Covid-19, 2020):

Tabla 1

Evolución de afectación de los municipios en Colombia por el Covid-19

Fechas	No Covid	Afectados	Porcentaje de Afectados
13 de Julio 2020	395	727	64,795%
17 de Agosto 2020	145	977	87,076%
7 de Septiembre 2020	90	1032	91,978%
5 de Octubre 2020	58	1064	94,830%
9 de Noviembre 2020	40	1082	96,434%
13 de Enero 2021	19	1103	98,306%
15 de Febrero 2021	12	1110	98,930%

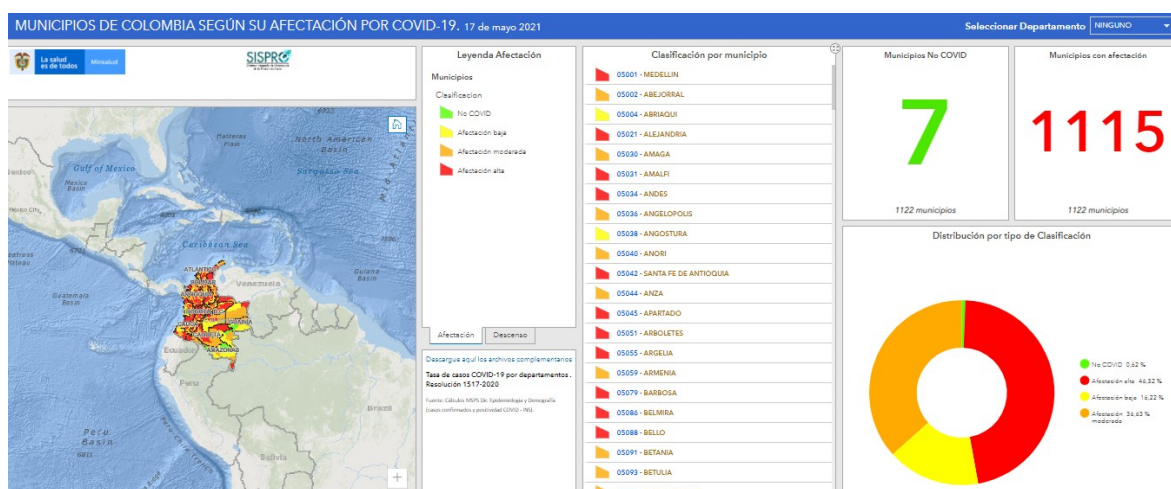
Nota. Esta tabla muestra la linea de tiempo del porcentaje de afectación del covid 19 en los municipios del país.

El Ministerio de Salud diseñó un mapa interactivo imagen 1 en el que se puede consultar la clasificación municipio por municipio dividido en cuatro categorías: No Covid, Afectación baja,

Afectación moderada y Afectación alta (Minsalud explicó parámetros de riesgo para municipios en el marco del covid-19, 2020) . Siendo así que los municipios No Covid, son aquellos con cero casos positivos la siguiente tabla pretende evidenciar estas categorías en el reporte del 03 de mayo 2021.

Imagen 1

Mapa interactivo



El Ministerio de Salud publicó en su página web mapa interactivo imagen 1 en el que se puede consultar la clasificación municipio por municipio (MUNICIPIOS DE COLOMBIA SEGÚN SU AFECTACIÓN POR COVID-19, 2021). Las cuatro categorías son: No Covid, Afectación baja, Afectación moderada y Afectación alta. Donde se capturaron los datos para desarrollar la tabla de afectación porcentual de la tabla 2.

Tabla 2

Departamentos de Colombia según su afectación por el Covid

Departamento	Afectación alta	Afección Moderada	Afección baja	No covid
Antioquia	61,6 %	30,4 %	8%	
Atlántico	43,48 %	56,52 %		
Bogotá	100 %			
Bolívar	19,57 %	41,3 %	39,13 %	
Boyacá	25,02 %	35,77 %	39,02 %	
Caldas	92.59 %	7,41 %		
Caquetá	6,25 %	75 %	18, 75 %	
Cauca	23,81 %	42,86 %	33,33%	
Cesar	52 %	36 %	12 %	
Córdoba	16.67 %	56,67 %	26,67%	
Cundinamarca	56,03%	28,45%	15,52%	
Chocó	20%	36,67%	43,33 %	

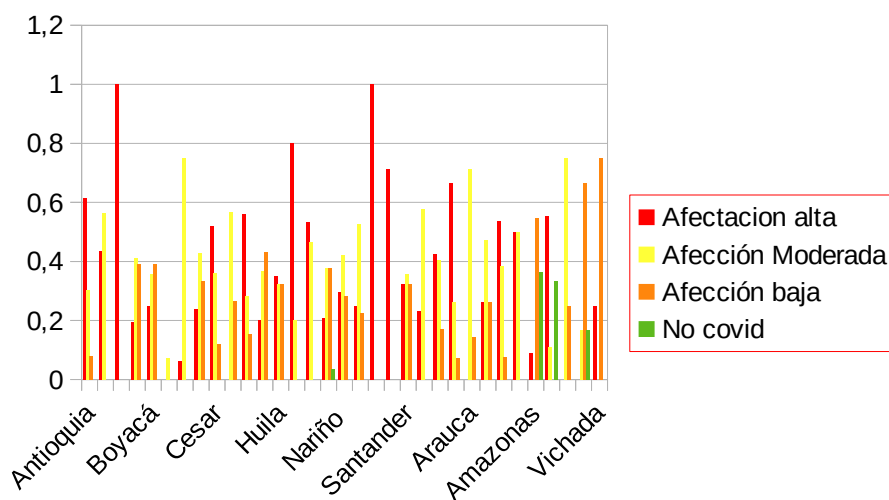
Huila	35,14 %	32,43%	32,43%	
La guajira	80%	20%		
Magdalena	53,33 %	46,67%		
Meta	20,69 %	37,93 %	37,93 %	3,45%
Nariño	29,69 %	42,19 %	28,13 %	
Norte de Santander	25 %	52,5 %	22,5 %	
Quindío	100%			
Risaralda	71,43 %	28,57 %		
Santander	32,18%	35,63 %	32,18%	
Sucre	23,08%	57,69%	19,23%	
Tolima	42,55%	40,43%	17,02%	
Valle del Cauca	66,67%	26,19%	7,14%	
Arauca	14,29%	71,43%	14,29%	

Casanare	26,32%	47,37%	26,32%
Putumayo	53,85%	38,46%	7,69%
Archipiélago de San Andrés	50%	50%	
Amazonas	9,09%		54,55% 36,36%
Guainía	55,56%	11,11%	33,33%
Guaviare		75%	25%
Vaupés		16,67%	66,67% 16,67%
Vichada	25%		75%

Esta tabla contiene la información oficial del Ministerio de Salud y Protección Social sobre la pandemia por SARS-CoV-2 (COVID-19) publicada el 03 de mayo 2021, Grafica uno.

Grafica 1

Departamentos de Colombia según su afectación por el Covid-19



Adaptado de “ Municipios de Colombia según su afectación por el Covid-19” (03 de mayo 2021).

Las siguientes tablas tres, cuatro y cinco respectivamente evidencian los datos de hospitalizaciones, cuidado intensivos y aislamiento según rango edades de afectación del covid-19 según reporte SEGCovid-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021 correspondiente al estado del país:

*Tabla 3**Hospitalización por rango de edades del país*

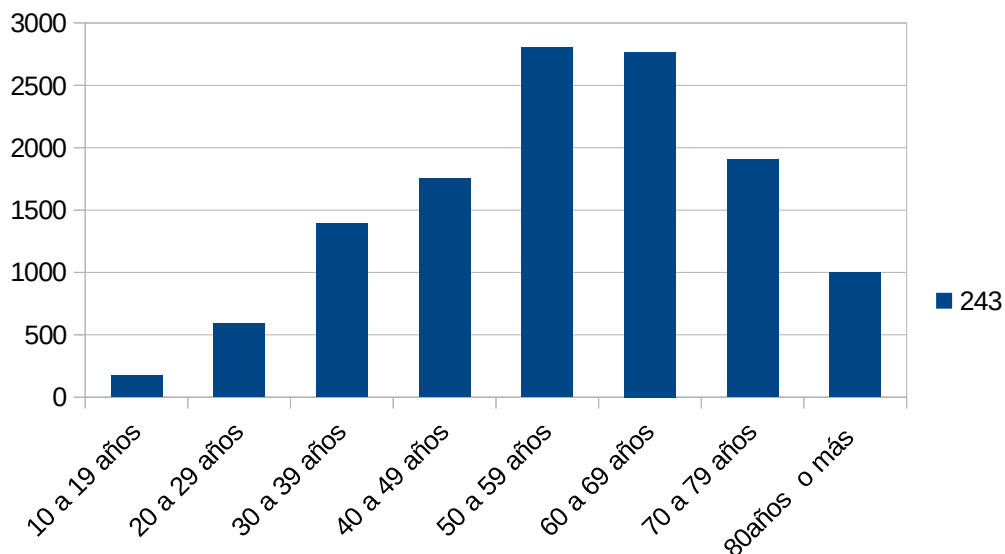
Rango de edad	Numero de personas
0 a 9 años	243
10 a 19 años	176
20 a 29 años	593
30 a 39 años	1393
40 a 49 años	1754
50 a 59 años	2802
60 a 69 años	2767
70 a 79 años	1903
80 años o más	998

Fuente: SEGCOVID-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021.

Grafica 2

Hospitalización por rango de edades del país

Nota. Fuente: SEGCovid-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021; En esta imagen



podemos apreciar que el rango de edad esta relacionado con la afectación del virus en huéspedes en los diferentes rangos de edad.

Tabla 4

Cuidados Intensivo

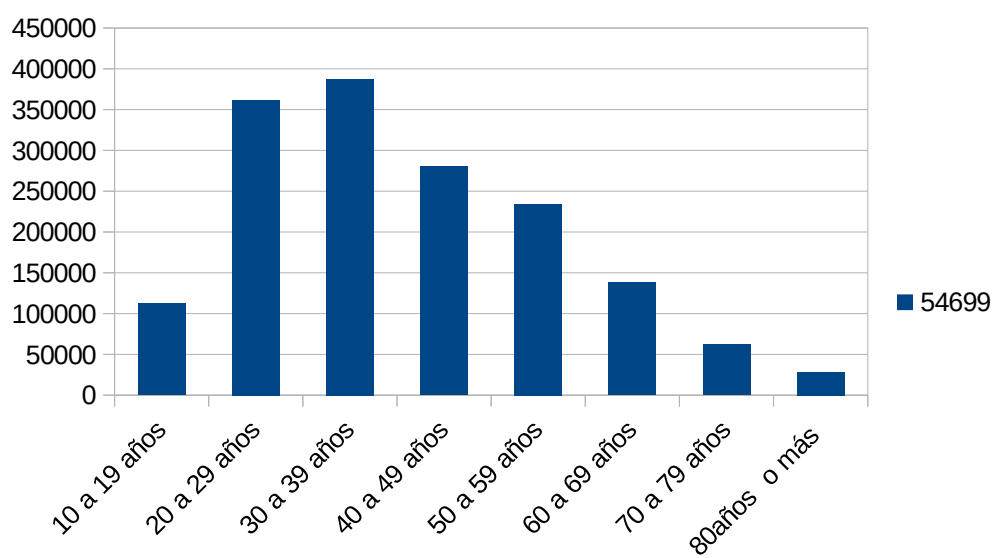
Rango de edad	Numero de personas
0 a 9 años	74
10 a 19 años	52
20 a 29 años	184
30 a 39 años	581

40 a 49 años	1052
50 a 59 años	1722
60 a 69 años	1896
70 a 79 años	1144
80 años o más	345

Fuente: SEGCOVID-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021

Grafica 3

Cuidados Intensivos por rango de edades



Nota. Fuente: SEGCOVID-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021; en la figura se hace notable el rango etario para pacientes covid-19 críticos.

Tabla 5

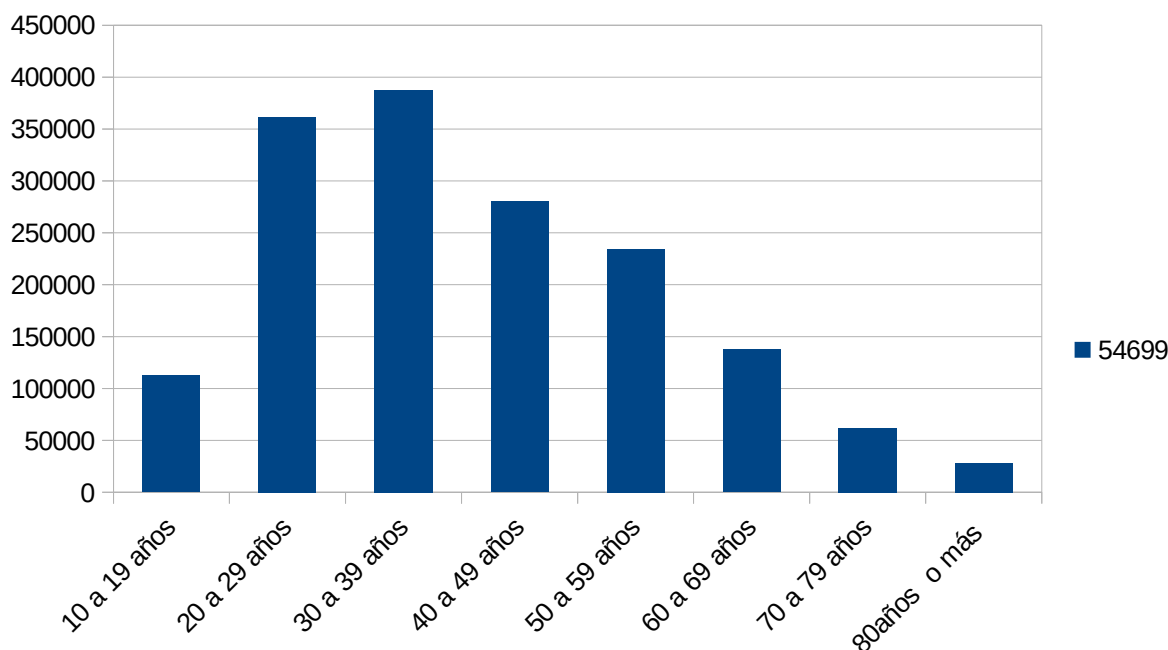
En aislamiento

Rango de edad	Numero de personas
0 a 9 años	54699
10 a 19 años	112661
20 a 29 años	361783
30 a 39 años	387583
40 a 49 años	280216
50 a 59 años	234534
60 a 69 años	137798
70 a 79 años	61821
80 años o más	28232

Nota. Fuente: SEGCOVID-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021.

Grafica 4

En aislamiento



Nota. Fuente: SEGCovid-Seguimiento con fecha de corte 09 de mayo 2021

La simulación y la optimización son técnicas de la Investigación Operativa (IO), y son herramientas muy utilizadas en la práctica para resolver problemas reales en diversos campos de ingeniería y ciencias (Faulín, 2005).

La principal motivación para elaborar esta propuesta es la de conocer los requerimientos de recursos de la institución de salud en condición de sobrecarga de pacientes con enfermedades respiratorias, y examinar anticipadamente los efectos de las decisiones tomadas por los administradores de dicha institución.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de prestación de servicios de salud basado en técnicas de simulación y optimización que imiten la atención de la enfermedad del Coronavirus 2019 (COVID 19), respondiendo a los indicadores de las necesidades de calidad de atención, control del flujo de pacientes y asignación de los recursos.

1.2.1.2 Objetivos Específicos

Establecer las características asociadas a la estructura de modelos de eventos discretos a través del muestreo del servicio de atención de la enfermedad del Coronavirus 2019 (COVID 19).

Formular la estructura de atención de la enfermedad Coronavirus 2019 (COVID 19), a partir de un modelo de redes de proceso orientado a eventos discretos.

Evaluar los indicadores del modelo base, analizando los factores de ocupación de los recursos, el costo de funcionamiento y su efecto en la atención del paciente en una institución de salud de mediana complejidad.

Comparar el modelo base con un modelo alternativo, basado en los indicadores de atención, de recursos y costos.

1.3 Alcance

Dar a conocer una logística de materiales, recursos y equipos empleados para la satisfacción profesional colectiva de trabajadores de una IPS de mediana complejidad con la finalidad de brindar coste beneficio de los procesos más críticos que vivimos actualmente. El estudio analiza el desarrollo real de las actividades de atención a pacientes covid-19 y el material requeridos para la evolución del diagnosticado (paciente) de estos procedimientos y el planteamiento de alternativas de mejora para el desarrollo de las mismas y las diferentes alternativas para el personal.

1.4 Justificación

Los sistemas de salud deben estar preparados para hacer frente a esto, además de los probables aumentos en el número de pacientes con COVID-19 que requieren hospitalización en invierno 2020-2021.

El coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) es la causa de COVID-19, una pandemia que ha afectado a más de 400 000 personas y causó una alta demanda de los servicios de urgencias y hospitalización (Los nombres de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y del virus que la causa. (s.f.)).

Como consecuencia del estado de alarma de la pandemia de la covid-19, es crucial comprender y modelar esta crisis Sin embargo, pocos estudios han vinculado las previsiones de demanda sanitaria de COVID-19 en el marco de los IPS a estimaciones a nivel nacional de capacidad hospitalaria y utilización. El presente estudio buscó identificar y analizar las variables y procesos críticos que afectan la atención a los usuarios y la calidad del servicio; la

frase “solo sabemos de verdad de qué hablamos cuando somos capaces de medirlo”, de Lord Kelvin. Aquí, integramos un marco de capacidad hospitalaria con proyecciones epistemológicas de pacientes con COVID-19 que requieren tratamiento en la UCI y hospitalización.

Saber qué tipo de problema se está produciendo en cada momento es imprescindible para el análisis estadístico y así obtener buenas predicciones para el mejor funcionamiento de la unidad de servicios de salud.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El primer artículo que se basó en un modelo de simulación para estudiar el comportamiento de un hospital fue el de Fetter en 1965. Desde entonces, modelado y simulación se han utilizado para resolver problemas en el contexto sanitario, como los estudios relacionados con el flujo de pacientes, la capacidad de camas, la gestión de listas de espera, el diseño del centro de salud, de centros de urgencias, etc.

A continuación, se mencionan algunas publicaciones donde se emplea la simulación para resolver distintos problemas reales en el contexto de salud. Los siguientes apartados recogen aplicaciones centradas en la planificación y gestión de recursos sanitarios y en la prevención y tratamiento de enfermedades.

2.1.1 Estudios de simulación para la prevención, control y tratamiento de enfermedades

Numerosos trabajos se centran en el estudio del coste-efectividad de diferentes tratamientos y terapias preventivas, permitiendo la comparación de diferentes políticas de actuación. La tabla 6 resume algunos de dichos trabajos.

Tabla 6

Resumen de algunos trabajos de simulación de carácter en salubridad

Autores	Año	Aporte
Stevenson	2005	Simulación para estudiar costo-efectividad en tratamientos para la osteoporosis en mujeres menopáusicas.
Rauner	2005	Modelo de simulación para control y tratamiento de enfermedades infecciosas, tales como evaluar estrategias de prevención de transmisión de SIDA de madres a hijos
Babad	2002	Simulación para estudiar costo-efectividad en prevención de enfermedades cardiovasculares.
Davies	2002	Simulación aplicada a la investigación de enfermedades derivadas de <i>helicobacter pylori</i> .

2.1.2 Estudios de simulación para la planificación y gestión de recursos sanitarios

Existe gran cantidad de trabajos relacionados con la planificación y gestión de recursos sanitarios que utilizan la simulación. La tabla 7 resume una revisión bibliográfica de este tipo de aplicaciones.

Tabla 7

Resumen de revisión bibliográfica desde el tipo de aplicación

Autores	Año	Aporte
Cheang	2003	Modelos y metodologías de resolución del problema de turnos en enfermería.
Griffiths	2005	Modelo de simulación para analizar y evaluar las necesidades de personal de enfermería en UCI
Ashton	2005	Modelo para encontrar las ubicaciones óptimas de ambulancias y otras unidades de emergencia
Lange	2004	Modelo para crear una nueva unidad en un centro hospitalario, estimando las necesidades de camas quirúrgicas y camas médicas usando el software Arena.
Cochran	2006	Modelo de simulación para equilibrar el uso de camas en un hospital de obstetricia.
Utley	2003	Planificación de un hospital con un número fijo de camas, balanceando el número de camas para UCI y el de camas para los demás cuidados; junto a la asignación de personal

		cualificado y aparatos médicos
Visser	2006	Modelo para comparar diversos sistemas de admisión en un hospital.

Las listas de espera son la principal causa de insatisfacción entre los usuarios de los servicios sanitarios. Muchos trabajos sobre organización de servicios sanitarios centran su estudio en ellas.

La localización y asignación de recursos en países en vías de desarrollo es un problema interesante, debido a la gran cantidad de enfermedades severas que se presentan en estos países y a la gran escasez de recursos médicos. Las herramientas de optimización se han utilizado con éxito desde hace muchos años, para el estudio de problemas relacionados con el control de enfermedades como la malaria o la tuberculosis.

La literatura recoge un amplio abanico de modelos y metodologías de la Investigación Operativa (IO) que han sido implementados con éxito en el entorno industrial y empresarial, y que se aplican también, aunque con menor difusión, en el entorno sanitario. La IO propone, en general, métodos de solución para problemas reales que involucran la gestión de recursos generalmente escasos, con restricciones que deben cumplirse, y donde frecuentemente existen varios criterios para evaluar o medir la bondad de los posibles cursos de acción o soluciones al problema analizado.

En este estudio se considerarán diferentes propuestas de asignación de recursos tales como: coordinación y distribución de las tareas de los diferentes profesionales, de los equipos y de los recursos de la Institución de salud.

- Establecer las características asociadas a la estructura de modelos de eventos discretos a través del muestreo del servicio de atención de la enfermedad del Coronavirus 2019 (COVID 19).

- Formular la estructura del sistema de servicios de atención de la enfermedad del Coronavirus 2019 (COVID 19), partiendo de un modelo de simulación de eventos discretos en presencia de incertidumbre.

2.2 Descripción de la enfermedad

Generalidades sobre la enfermedad COVID-19, causada por el coronavirus CoV-2

Para un brote de una nueva enfermedad viral, hay tres nombres por decidir: la enfermedad, el virus y la especie. La Organización Mundial de la Salud (OMS) es responsable de la enfermedad, los virólogos expertos del segundo y el Comité Internacional de Virus y Taxonomía del tercero (ICTV)(Organización Mundial de la Salud, 20219).

La COVID-19 es la enfermedad infecciosa causada por el coronavirus que se ha descubierto más recientemente. Tanto este nuevo virus como la enfermedad que provoca eran desconocidos antes de que estallara el brote en Wuhan (China) en diciembre de 2019(Organización Panamericana de la Salud, 2019).

La nomenclatura de virus es un sistema formal de nombres que se utiliza para etiquetar virus y taxones, la necesidad de esta caracterización se debe a la percepción histórica de los virus como agentes causantes de enfermedades específicas en huéspedes específicos. Los virus principalmente se clasifican a partir de la naturaleza y la estructura de su genoma y de su método de replicación, en diagramas esquemáticos de virus; en ellos se indican los virus con genoma DNA y los virus con genoma RNA (Mandal, s.f.).

2.2.1 Los virus según su genoma

2.2.1.1 Genoma DNA ácido desoxirribonucleico

Utilizan partes de la información del hospedero, así como también parte de su maquinaria celular. El problema con esta estrategia es que la mayor parte de las células maduras del hospedero no están replicándose activamente, se encuentran reposando para ahorrar energía. Por lo tanto, los virus de ADN necesitan encontrar la manera de activar el motor (“pasarle corriente”) de la célula hospedera o, alternativamente, traer consigo los aditamentos de aquellas partes celulares que no están activas cuando el virus entra. Básicamente lo que los virus hacen para reproducirse es secuestrar la fábrica de la célula para producir virus en lugar de nuevas células. Además las moléculas de ADN viral pueden ser lineales o circulares(SARS-CoV-2: ¿qué hay en el nombre?, 2020).

2.2.1.2 Genoma RNA ácido ribonucleico

Estos genes contienen "instrucciones" para fabricar virus nuevos; un virus de la influenza utiliza estas instrucciones después de infectar una célula humana para engañar

de modo que comience a fabricar más virus de la influenza y así diseminar la infección. Los genes de la influenza constan de una secuencia de moléculas denominada nucleótidos que se unen entre sí y forman una cadena. Los nucleótidos son designados por las letras A, C, G y U (adenina, citosina, guanina y uracilo, respectivamente) (SARS-CoV-2: ¿qué hay en el nombre?, 2020).

2.2.1.3 Línea de tiempo del coronavirus dentro del cuerpo

Infección, recuperación o muerte de pacientes portadores del virus según estudio de 138 pacientes infectados con el virus publicado en el Journal of the American Medical Association (JAMA) descrita en la tabla 8 (Rivera, 2020)

Tabla 8

Línea de tiempo del coronavirus en el cuerpo

Días de evolución	Proceso	Síntomas y signos
1	Incubación	Los síntomas más comunes fueron fiebre (88% de los casos), seguidos de tos seca (68% de los casos) y fatiga y debilidad general del cuerpo (38%) y tos con flema (33%)
2-3	El virus se propaga por las	Dificultad respiratoria

vías respiratorias a los
pulmones.

- 7 Inicia el daño en el sistema Problemas para respirar.
a causa del virus
- 8 Dificultad respiratoria El virus también puede
aguda es muy probable que elcausar náuseas, diarrea o
paciente tenga neumonía. (Enindigestión si infecta las
los casos más graves,células del sistema
COVID-19 puede provocargastrointestinal.
insuficiencia orgánica y la
muerte).
- 10 Traslado a unidad de Disnea, saturación de
cuidados intensivos oxígeno color en la piel
amarillo.
- 12 Hospitalización La fiebre cesa, aunque
puede cesar días antes.
- 12-13 Posibilidades de La persona puede respirar
recuperación del paciente mejor. El tiempo estimado de
recuperación es de dos
semanas para casos leves y

entre tres y seis semanas para
casos más graves.

18 La muerte puede ocurrir
para los más afectados.

18+ La persona se recupera. El
tiempo promedio desde el
inicio hasta la recuperación
clínica para casos leves es de
aproximadamente dos
semanas.

2.3 Simulación por eventos discretos

La simulación por eventos discretos es una herramienta para simular el comportamiento y desempeño de procesos del mundo real. La mayoría de los procesos de una organización se pueden describir con una serie de eventos que ocurren a lo largo de cierto tiempo, y que alteran el estado de un sistema. La simulación se utiliza para estudiar sistemas y procesos cuyo estado va cambiando con el tiempo de forma discreta, por lo que permiten contextualizar el curso de una enfermedad y su manejo en términos de los eventos que pueden suceder durante el modelado, y cuyo impacto afecta tanto a los pacientes como a otros componentes del sistema (p. ej., Dadas las características de estos sistemas, las soluciones por simulación resultan acordes ya que:

- Muchas veces no es viable experimentar ya que los agentes de nuestro sistema son personas siendo atendidas
- Dependiendo del proceso puede involucrar inversiones en equipamiento o infraestructura significativas.
- En buena parte de los casos suele haber abundancia de información por sistemas de historia clínica electrónica u otros comparables, que serán la base de los modelos.).

CAPITULO III

3.1 Descripción del sistema que se va a modelar

En este capítulo se describe la situación actual dentro de una entidad prestadora de servicios de salud; este capítulo responde al primer objetivo. El estudio se centra principalmente en describir el proceso de admisión y manejo a pacientes covid-19 en cada las etapas de la atención requerida, los recursos y el tiempo en cada interacción con el sistema.

3.1 Secuencia del paciente obtenida en entrevista con la doctora Jenny Paola Pedraza

El proceso inicia con la llegada de los pacientes al servicio de urgencias; es importante aclarar que todo usuario que solicite el servicio de urgencias debe ser atendido en su fase inicial. El doctor o enfermera observa alguna alteración meritoria de la integridad física, funcional o mental de una persona, se realiza una atención médica inmediata; en caso contrario la siguiente fase es el registro de los datos como la fecha, nombre, identificación, anotando la hora de llegada y la de salida del paciente en el libro de registro de atención de pacientes. Esta actividad es realizada por el vigilante de turno.

El paciente permanece en la sala de espera hasta que es llamado por el auxiliar de enfermería para tomar sus signos vitales, controlando permanentemente si se presentan alteraciones de las personas que se encuentran en la sala. La auxiliar de enfermería registra en el formato “Hoja de Triage” la información básica del paciente y el motivo de consulta, enviándola luego con destino a la caja, donde son verificados los datos, el tipo de afiliación e identificación del pagador. A continuación el cajero deposita el formato en una urna y el doctor de clasificación de Triage

atiende al paciente completando el formato e indicando cuál es el tipo de atención apropiado conforme a sus antecedentes y signos vitales.

Hay cinco posibilidades en el modelo sobre el tipo de clasificación para dar prioridad de atención a los pacientes de acuerdo con la necesidad, estos son Triage: rojo, naranja, amarillo, verde y azul. En caso de que el paciente informe su deseo de salir voluntariamente del servicio, se deja un registro de salida voluntaria.

El médico de Turno indica al cajero el diagnóstico y clasificación para que el paciente sea atendido por el médico de servicio. El cajero revisa los documentos del paciente y verifica el cubrimiento de la atención inicial de urgencias (AIU), solicita la autorización de la atención de urgencia a la entidad pagadora por medio de la asignación del número de autorización prioritaria (NAP). El médico de servicio, después de realizar un diagnóstico, puede clasificar el tipo de atención del paciente en tres tipos:

Consulta externa: Cuando no es necesario que el paciente permanezca en la sala de urgencias, ya que no presenta una alteración que comprometa su integridad física, funcional o mental

Consulta prioritaria: Cuando hay evidencia de la alteración de los signos vitales

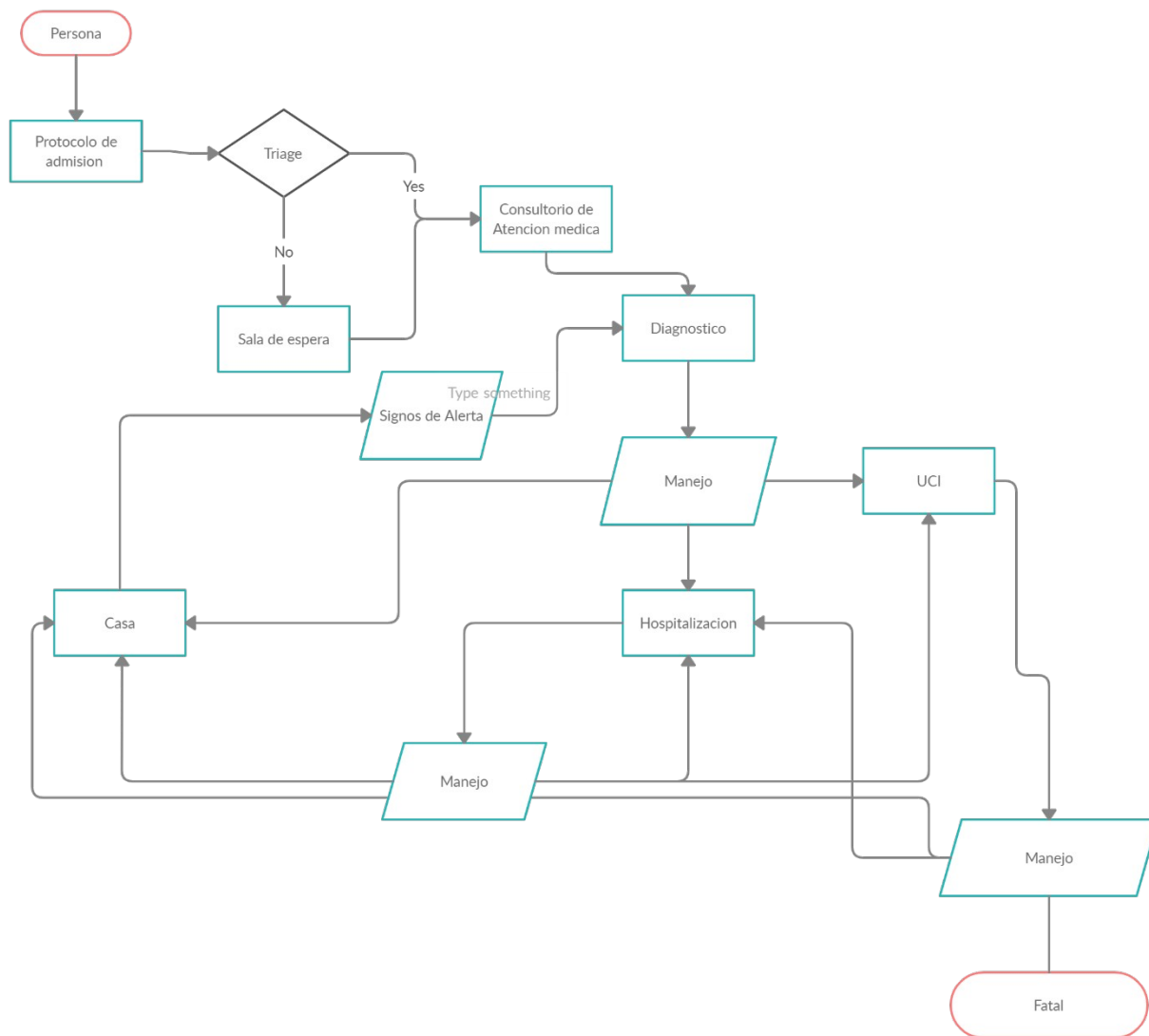
Urgencias: Cuando hay compromiso importante en la integridad del paciente.

En cualquier caso, el doctor diligencia la “Historia clínica de urgencias”, registrando y explicando al paciente y su familiar o acompañante el tratamiento y cuidados que se deben tener en cuenta.

El médico tratante define la conducta según sea el caso: puede ordenar la salida del paciente realizando las observaciones e indicaciones necesarias que este debe tener en casa, hospitalizarlo, remitirlo a otra entidad o, en caso de fallecimiento, trasladarlo al depósito transitorio de cadáveres. En el siguiente diagrama de la *Grafica 5* el proceso de atención a pacientes en el servicio de urgencias.

Grafica 5

Diagrama de atención



Fuente Propia. En el esquema podemos apreciar como inicia el proceso con una persona y la secuencia que debe cumplir en el sistema para ser atendido y por consiguiente su salida del mismo.

3.2 Proceso principal

El proceso de admisión tiene como objetivo dar prioridad a los pacientes el cual hace parte de la primera interacción que tiene el paciente con el servicio. El área de admisión cuenta con diferentes recursos como lo son humanos, de infraestructura y de información que debe garantizar el bienestar del paciente.

- Recursos humanos :

Medico de urgencias

Enfermera de triage

Vigilante de turno

- Recursos de infraestructura

Sala de espera de urgencias

Un modulo para el vigilante

Software de gestión de pacientes

Equipos diversos de oficina

Equipo medico especializado

■ Recursos de información

Software de gestión maestro de pacientes, medicamentos, rutas y médicos.

El proceso inicia cuando la paciente ingresa a la unidad de atención y hace el registro en la portería. El comportamiento entre llegadas de pacientes se asume que se disminuye exponencialmente con un tiempo promedio entre llegadas tal como se muestra en la tabla 9

Tabla 9

Distribución de los tiempos de llegadas supuestos para simular dos picos al año

Mes	Promedio entre llegadas (Minutos)
1	720
2	480
3	360
4	240
5	360
6	480
7	720
8	360

9	240
10	180
11	360
12	720

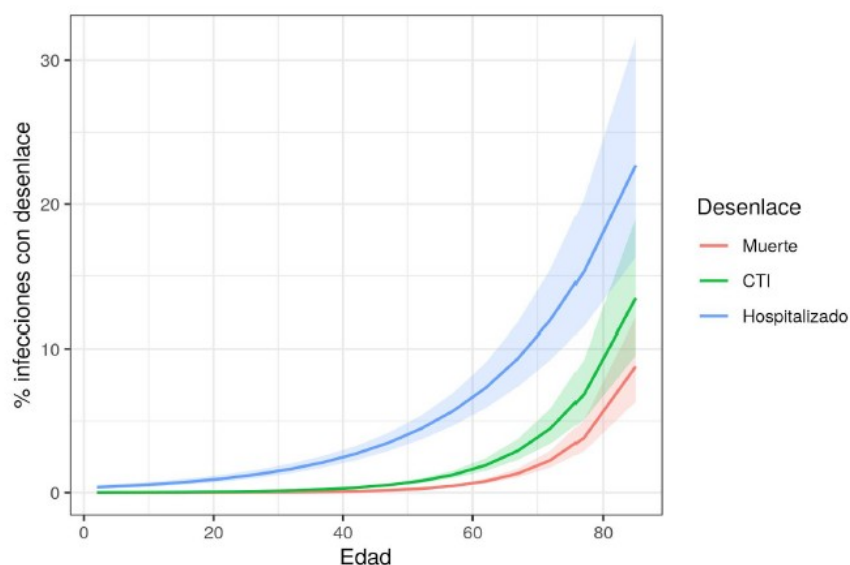
El promedio entre llegada sirve para determinar los picos de llegadas de pacientes al sistema. En el mes 1 se muestra que la llegada de pacientes es una distribución de probabilidad exponencial entre llegadas de 720 minutos al sistema por covid-19.

Cálculo del mes:

Mes = entero $(12 * \text{TNOW} / 360) + 1$. En la expresión se calcula el mes a partir del tiempo de simulación. Para lo cual es importante tener una probabilidad de hospitalización tal como se describe en la grafica 6.

Grafica 6

Probabilidad de hospitalización por grupos de edad



Porcentajes aproximados de hospitalización en personas infectadas por el virus SARS-CoV-2 que causa la enfermedad covid-19 en la grafica integra tres estudios serológicos de varios países del mundo. Donde se evaluó el porcentaje de infección por rangos de edades lo cual permite identificar que en el intervalo de 0 años a 20 años la probabilidad de padecer una infección severa es poca; a partir de los 20 y en aumento a la edad también incrementa la posibilidad de infección con desenlace fatal.

Es así como la grafica nos muestra tres consideraciones en caso de infección las cuales son el manejo de la persona infectada en Hospitalizado linea de color azul, CTI Linea de color verde y muerte linea de color rojo Identificando cinco grupos de rangos de edades respecto a la infección. Descritos en la tabla 10.

Tabla 10

Probabilidad de hospitalización por grupo etario considerados para el modelo:

Grupo	Probabilidad de hospitalizacion
< 20 años	1,00%
>20 y< 40	5,00%
>40 y< 59	12,00%
>60 y< 79	25,00%
<80	40,00%

La tabla contiene la asignación de los atributos para cada paciente con una probabilidad discreta donde cada grupo etario tiene una posibilidad de 20%.

El siguiente pseudicódigo asigna el grupo etario del paciente a partir de un número aleatorio.

Pseudocódigo:

Generar U entre 0 y 1.

Si $U < 0,2$ entonces probabilidad es de 1%

Si no, Si $U < 0,4$ entonces probabilidad es de 5%

Si no, Si $U < 0,6$ entonces probabilidad es de 12%

Si no, Si $U < 0,8$ entonces probabilidad es de 25%

Si no, probabilidad es de 40%.

Cuando el paciente se incorpora al sistema se registra su tiempo de llegada.

Siguiendo el proceso el encargado debe preguntar al paciente si viene por primera vez a la entidad. Si el paciente es regular continúa con el proceso, si es nuevo se le entrega una ficha de inscripción en la cual debe llenar la siguiente información:

- Nombres y Apellidos
- Sexo
- Estado Civil
- Tipo y número de documento
- Lugar y fecha de nacimiento
- Nacionalidad
- Dirección, teléfono, email, ocupación y persona de contacto

3.3 Admisión

Luego que el paciente que ya tiene un turno de atención, este debe permanecer en la sala de espera a ser atendido en admisión.

El paso a seguir es continuar en el triage donde se ordena por tipo de atención si la consideración es triage rojo pasa de inmediato a ser atendido por un medico. El tiempo promedio para ser atendido en triage varía dependiendo al paciente según las consideraciones del paciente como lo muestra la siguiente tabla 11(Pavlicich V. 2014):

Tabla 11

Niveles de prioridad en triage

Nivel	Asistencia medica	Clasificación
Nivel 1	Inmediato	Resucitacion
Nivel 2	10 minutos	Emergencia
Nivel 3	30 minutos	Urgencia
Nivel 4	120 minuto	Semi- emergencia
Nivel 5	180 minutos	No urgencia

Esta tabla es tomada del 7° congreso Argentino de emergencias y cuidados críticos en pediatría (septiembre 2014) hospital Gral. Pediátrico Niños de Acosta Ñu.

El médico debe registrar lo observado en el paciente y determinar el diagnostico; socializado el diagnostico con el paciente se le indica el manejo lo que permitirá la salida del sistema , el ingreso a hospitalización en observación , cuidados intensivos o Morgue.

En caso que el paciente positivo sea diagnosticado caso leve se le da indicaciones para manejo en casa y la salida.

Si por el contrario el paciente positivo tiene dificultad respiratoria lo ingresan a hospitalización para darle manejo según lo observado en el caso.

Cuando el estado es muy delicado el paciente pasa por un protocolo de desinfección para ser aislado en la unidad de cuidados intensivos.

La alta para pacientes que requieren atención hospitalaria de covid-19 deben tener una prueba negativa de lo contrario se estudia nuevamente el caso para determinar el manejo nuevamente.

3.4 Elementos presentes en los sistemas de atención

Entidades

Los pacientes que se mueven a través del sistema representan la entidad. Estas probabilidades de salida de las entidades son: Hospitalización, UCI, Casa y deceso.

Atributos

Los atributos presentes permiten medir la característica “tiempo” de la entidad “paciente” en diversas etapas del proceso.

- Hora de llegada
- Probabilidad de ser hospitalizado de acuerdo al grupo etario

Recursos

Los recursos son los elementos que llevan a cabo las actividades claves del sistema.

- Camas UCI:

Gabriela Garnham, gerente general de la Asociación de Dispositivos Médicos de Chile (ADIMECH), que agrupa a las empresas más innovadoras del sector, señala que las 'Camas UCI' se definen como un espacio que permiten un monitoreo estricto de la condición de una persona en estado crítico (CAMAS PARA UCI Y VENTILADORES, LOS MÁS SOLICITADOS EN CHILE PARA PACIENTES GRAVES POR COVID-19, 2020).

*Imagen 2**Camas UCI*

- Camas Hospitalización:

Se refiere a las camas destinadas a la atención de pacientes ingresados; incluyen camas fijas y las cunas, excepto aquellas destinadas a la atención de los recién nacidos normales .

- Respiradores: Los ventiladores mecánicos son vitales en la atención de personas con insuficiencia pulmonar, que puede ser una de las complicaciones de los casos graves de COVID-19”, así mismo, los ventiladores también se pueden configurar para exhalar aire, asumiendo efectivamente las funciones de inhalación y exhalación. Así, se programan para que "respiren" a un ritmo determinado de acuerdo con las necesidades del paciente, explica la gerente general de ADIMECH Gabriela Garnham.

Imagen 3

Respiradores Mecánicos



- Personal medico

El personal sanitario son «todas las personas que llevan a cabo tareas que tienen como principal finalidad promover la salud (Informe sobre la salud en el mundo, 2006).

Imagen 4

Personal Médico (Organización Mundial de la Salud. (s.f).)



Cola

Las colas representan una línea de tiempo que los pacientes deben esperar antes de ser atendidos por algún recurso del sistema.

- Valoración
- Hospitalización

- UCI

3.5 Variables que se consideran que intervienen en el tiempo del modelo

Las variables en instantes de tiempo cambian lo cual corresponden a una alteración denominada evento, por lo cual es posible afirmar que un evento se define como la acción instantánea que puede permutar el estado del sistema.

- Parámetros asociados al proceso

- Tiempo entre llegadas: Proporción del comportamiento real de llegada entre los pacientes a la unidad de atención a los que se pretende dar atención el mismo día. Descritas en la tabla 9.

- Tiempo de servicio de cada proceso: Determinado por el estado inicial del paciente y la secuencia de evolución. Según estudios serológicas el aproximado de recuperación de un paciente podría tardar tres semanas en el caso de pacientes como mayor dificultad podría tomar más de cuatro semanas desestimando el tiempo que le lleva al paciente otros procesos como cirugías y laboratorios.

Tiempo en consulta: basados en la experiencia y practica cada medico tarda aproximadamente entre 15 y 30 minutos para determinar el manejo que se le da al paciente en la consulta de urgencias.

Tiempo de atención para Hospitalización y UCI: Representa la diferencia en minutos transcurridos entre la hora de admisión, agendamiento en el sistema informático y la hora de atención en uno de los consultorios o sala de procedimientos.

- Tiempo en Triage: unidad de medida de tiempo en que un paciente transcurre bajo la observación valorando la situación fisiopatológica ordenado en función al grado de urgencia.

- Tiempo en el sistema: Se presenta como la distribución de probabilidades de la duración del servicio desde el ingreso de la entidad paciente hasta la salida del paciente. Este tiempo contabiliza desde que ingresa en el sistema hospitalario hasta que lo abandona

■ **Registros de intervalos**

Los contadores permiten llevar un conteo de aquellas entidades que cumplan con cierta característica específica. Se definen tres tipos de registro de intervalos: contador de registro de decesos, contador de registro de salida y contador para registro sin novedad.

■ **Indicador de espera**

- FIFO con prioridad: Los procesos de atención de acuerdo con su tiempo de llegada a la cola. Los pacientes que tienen una prioridad más alta, requieren de un buen tiempo de respuesta interactiva. Por lo cual desplaza el orden de atención en casos de emergencia (Método FIFO (PEPS) Gestión Almacén: Qué es y cuando se utiliza, 2019).

■ Recursos que consumen en la atención; Los recursos son los elementos que llevan a cabo las actividades claves del sistema.

Infraestructura

Humanos

Información

■ Atributos del paciente

- Prioridad: En la fase inicial se debe observar si el paciente tiene alguna alteración meritoria de la integridad física, funcional, morbilidad se realiza una atención de inmediato y la edad del paciente.

- Diagnostico: Después de diligenciar la historia clínica del paciente el medico establece el estado del paciente.

- Manejo: El medico tratante define la conducta según sea el caso lo cual está asociado con el estado del paciente: puede ordenar salida del paciente realizando las observaciones e indicaciones necesarias que este debe tener en casa, hospitalizarlo o en caso de fallecimiento trasladarlo al deposito de cadáveres.

- Hora de atención: Obedece a la hora en la que se destino el recurso al paciente para iniciar el proceso en el sistema de observación primaria por parte del medico.

- Protocolo de ingreso: Es la primera interacción del paciente donde se toma información del paciente como nombre, edad, identificación y nombre del acompañante.

Para la planificación de operaciones en la atención de enfermedades respiratorias se pretende aplicar al caso de una institución de salud típica de una región del país, haciendo un estudio previo de la situación actual y que permita simular los procesos de atención actuales de manera que estos muestren el funcionamiento aproximado de dicha institución, para luego proceder a pronosticar necesidades de recursos que permitan una gestión óptima de su labor misional.

3.6 Indicadores

Los recursos para desarrollar esta actividad que se pretenden tener en consideración son: camas, respiradores, personal de salud.

- Camas usadas: Es la relación que existente con respecto al total de camas y el uso del recurso.

- Respiradores usados: La cantidad de artefactos que facilitan la respiración a pacientes en cuidados intensivos.

- Casos fallecidos: Paciente que en su acta de decesos la causa de muerte fue covid 19.

- Tiempos: Cada paciente durante el flujo de atención requiere un gasto de tiempo por lo cual existen diferentes tiempos en el sistema como lo son:

Tiempo en que la entidad es atendidas; para ingreso a triage.

Tiempo total en el sistema; desde que ingresa al sistema hasta su salida

Tiempo de servicio discriminado por cada proceso; un aproximado establecido por practicas en cada proceso según entrevista con la medico Jenny Paola Pedraza

- Cantidad de pacientes que ingresaron al sistema y Cantidad de pacientes que ingresaron a cada proceso

- Cantidad de pacientes que salieron

- Tamaño promedio de cola.

CAPITULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN SOFTWARE ARENA

A lo largo de esta sección se va a proponer un modelo de atención pacientes con enfermedad covid-19 tiene como propósito fundamental la gestión de los recursos operacionales. Como un conjunto en red de procesos basado en el esquema del capítulo anterior para estudiar los resultados y comenzar a extraer conclusiones del empleo del modelo realizado.

4.1 Simulación

La simulación consiste en imitar o fingir que se está realizando una acción cuando en realidad no se está llevando a cabo actualmente es utilizada para propósitos generales, sin embargo, los objetivos que persigue se pueden resumir de la siguiente manera (Simulación, s.f.):

- Minimizar Actividades en tiempo y dinero.
- Disminuir el riesgo en la toma de decisiones .
- Aumentar la confiabilidad de los modelos de simulación.
- Cuantificación de los parámetros y valores asociados a fallos.

- Optimización e integración entre la simulación, el diseño y la experimentación del producto final.

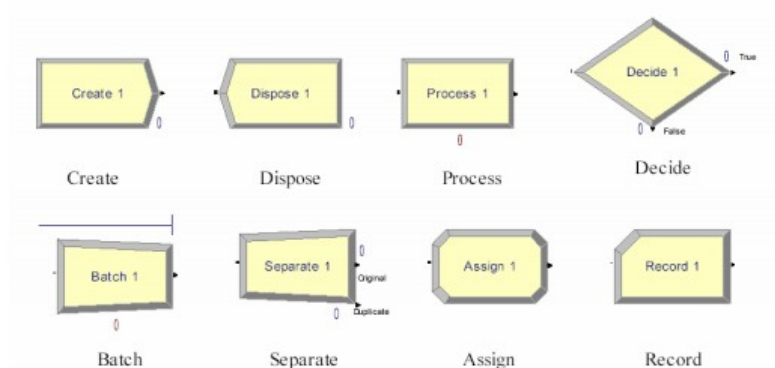
4.1.1 Software Arena

Escogí esta herramienta puesto que fue utilizada en una de las líneas de investigación en una materia de la academia además esta herramienta orientada a procesos, lo que permite desarrollar modelos con una orientación hacia lo natural, es decir, que los modelos que requiere para simulador presentan una configuración y apariencia fácil de entender. Proporciona una serie de plantillas intercambiables entre sí que contienen módulos para el modelado y análisis de simulación gráfica que pueden combinarse para construir una amplia variedad de modelos de simulación; organización, usando los módulos agrupados en paneles en la mayoría de los casos, los módulos de diferentes paneles pueden mezclarse dentro de un mismo modelo. Esta flexibilidad a la hora de modelar se mantiene debido a que Arena tiene una estructura completamente jerárquica, por lo cual es la herramienta con la que se desarrolla esta investigación. Otras herramientas de interés son los analizadores de datos, tanto de entrada como de salida, que incluyen las más frecuentes técnicas estadísticas de tratamiento de datos: test de comparación de medias, comparación de varianzas, intervalos de confianza de media y de desviación estándar, ajuste de distribuciones estadísticas estándar a un conjunto de datos, gráficos de barras, histogramas, gráficos XY; etc.(Arena, (s,f))

Los módulos de los organigramas definen los procesos dinámicos del modelo. Se puede pensar en estos módulos como nodos o lugares a través de los cuales las entidades fluyen, se originan o desaparecen del modelo. Los módulos de los organigramas se suelen conectar unos con otros. En el panel del Proceso Básico, se pueden encontrar los siguientes módulos IMAGEN 5 (Herramientas básicas de simulación en Arena, 2016):

Imagen 5

Módulos del proceso básico



4.2 Elementos de los modelos de simulación en arena

En este apartado se definirán las distintas partes de un modelo de simulación así como la importancia de cada una de ellas a la hora de modelar y ejecutar.

- Entidades: Las entidades suelen representar cosas reales pero en ocasiones pueden existir entidades ficticias.

- **Atributos:** Son las propiedades de los recursos y de los objetos temporales del sistema. Todas las entidades de una misma clase poseen los mismos atributos pero no necesariamente poseen los mismos valores y eso los hace diferentes. Los atributos se clasifican en locales o globales: las primeras pertenecen a las entidades mientras que las segundas son propias del sistema pero cualquier entidad las puede modificar.

- **Recursos:** Representan los elementos del sistema por los cuales compiten las entidades como equipos, operarios ó espacios. Una entidad puede solicitar un recurso, usarlo y luego liberarlo. Un recurso, además, puede estar en la capacidad de atender uno o varias entidades a la vez. Esta capacidad puede variar durante una simulación.

- **Colas:** Las colas de espera generalmente se asocian a un recurso. Las colas representan lugares donde las entidades deben esperar a que un recurso sea liberado ó que se le dé una orden de proseguir con su ciclo. Por lo general, las colas poseen capacidades finitas para modelar espacios limitados.

- **Eventos:** A la hora de ejecutar el modelo, básicamente todo se centra en los eventos. Un evento es algo que ocurre en un instante de tiempo (simulado) que puede hacer cambiar, atributos, variables o acumuladores estadísticos, como pueden ser: la llegada o la salida del sistema de una entidad, el final de la simulación, etc. Para poder ejecutar, una simulación debe seguir los eventos que se supone que ocurrirán en el futuro (simulado). En Arena, esta información es guardada en un calendario de eventos.

- **Reloj de Simulación:** El tiempo actual en la simulación es guardado en una variable llamada Reloj de Simulación. El transcurso de este tiempo no tiene por qué coincidir con

el real, se puede acelerar o retardar. Este reloj marca el transcurso de los eventos del calendario y es una parte muy importante de la simulación dinámica (el reloj es una variable llamada TNOW).

- **Comienzo y Parada:** Una cuestión muy importante en la simulación es cómo empezar y parar. Arena hace muchas cosas automáticamente, pero no es capaz de decidir cuestiones del modelado como el comienzo y la parada.

- **Acumuladores Estadísticos:** Para conseguir medidas de los resultados o salidas llevados a cabo, hay que hacer uso de varias variables que actúan como acumuladores estadísticos conforme la simulación progresa, como pueden ser: el número de partes producidas, el total de tiempo esperando en una cola, número de entidades que han pasado a través de una cola, el mayor tiempo que se ha permanecido en la cola, el total de tiempo que pasa en el sistema para todas las entidades que van desapareciendo, el área ocupada debajo de la curva de algunas funciones

4.3 Consideraciones del modelo

El modelo describe el flujo de pacientes covid-19 en una entidad prestadora del servicio; iniciando en el momento que llega un paciente. Y las actividades a ejecutar para cada uno de los pacientes garantizando la seguridad del personal, visitantes y pacientes. Se acepta, en consecuencia, las funciones del triage que deben ser 10:

- Identificación de pacientes en situación de riesgo vital.
- Asegurar la priorización en función del nivel de clasificación.

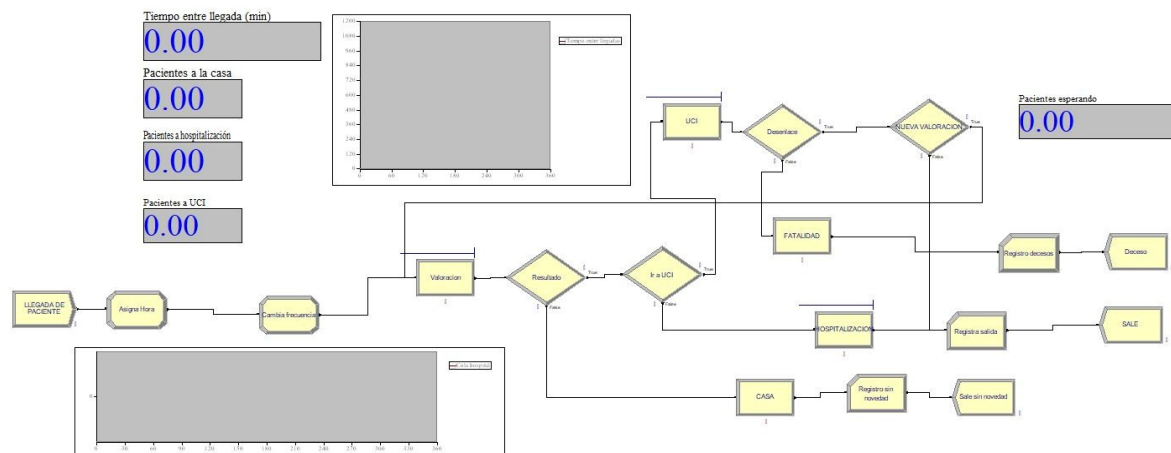
- Asegurar la evaluación de los pacientes que deben esperar.
- Decidir el área más apropiada para atender a los pacientes.
- Aportar información sobre el proceso asistencial.
- Disponer de información para familiares.
- Mejorar el flujo de pacientes y la congestión del servicio.
- Aportar información de mejora para el funcionamiento del servicio.

4.4 Simulación del proceso de atención a pacientes covid-19

Se trata de simular el proceso de atención a pacientes en una unidad medica de mediana complejidad que esta compuesta por las posibles alternativas de manejo que se le diagnostica a un paciente portador del virus como lo son manejo en casa, hospitalizacion y unidad de cuidados intensivos. [13]

Imagen 6

Modelo base



LLEGADA DEL PACIENTE

- Los pacientes llegan a la valoración según la probabilidad de hospitalización descrita en la tabla 10 por lo cual es necesario definir el tiempo en que llega al sistema. Lo cual se desarrolla en la asignación de la variable $Mes = \text{entero}(12 * \text{TNOW} / 360) + 1$ a partir del día transcurrido para las entidades que circulan a través del sistema así:

Imagen 7

Creación de la entidad

Create

?

×

Name:

Entity Type:

LLEGADA DE PACIENTE

PACIENTE

Time Between Arrivals

Type:

Value:

Units:

Random (Expo)

Frecuencia

Minutes

Entities per Arrival:

Max Arrivals:

First Creation:

1

Infinite

0.0

OK

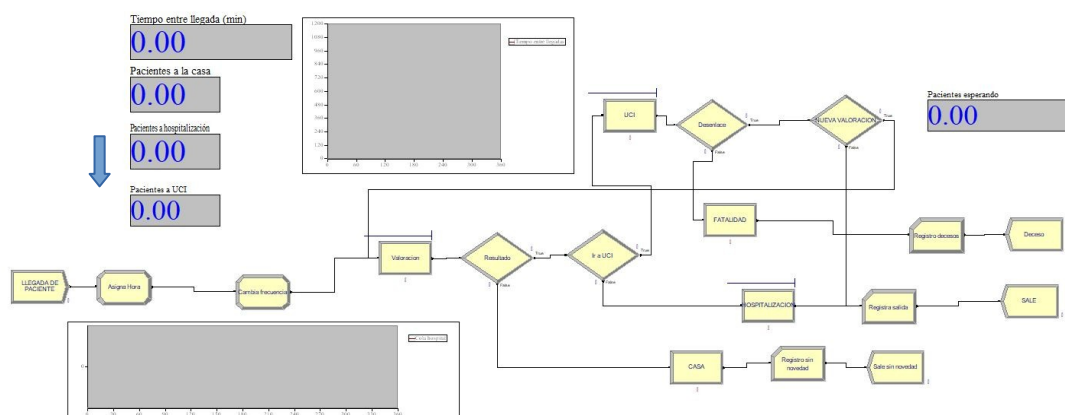
Cancel

Help

Las entidades contienen propiedades llamadas atributos que permiten crear diferencias entre ellas. La forma en que se delimita la llegada de los pacientes a un modulo “create” es a través de la definición de los arribos máximos “max arrivals” y primera creación “first creation”. Las consideraciones para el modulo se definieron en el capítulo 3. El módulo está señalado por la flecha azul, en la imagen 8.

Imagen 8

Inicio del proceso

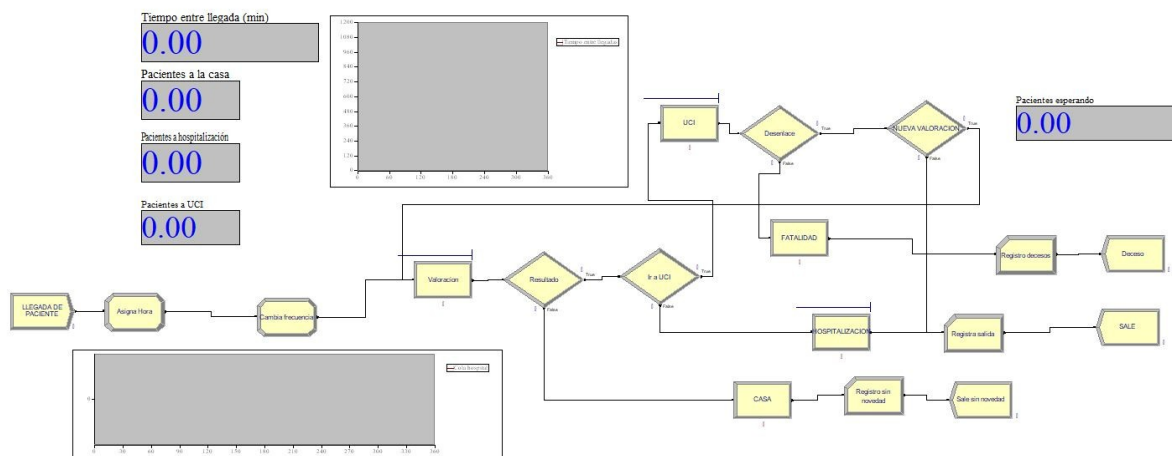


Según las consideraciones establecidas el flujo esta regulado por tres módulos fundamentales; Asigna hora, Cambia frecuencia y Valoración por lo tanto cada interacción estima el flujo hacia uno u otro modulo en el sistema. La imagen 9 a continuación

ASSIGN

Imagen 9

Asignación para atributos y variables



Definido el Atributo hora:

- La variable Indice es global y determina el mes para hallar la frecuencia entre llegadas de ese mes. Descrita en la imagen a continuación



Imagen 10

Variable Índice

Assignments ? X

Type: Variable Variable Name: Indice

New Value: AINT(12 * TNOW / 360) + 1

OK Cancel Help

La expresión $\text{entero}(12 \cdot \text{TNOW} / 360) + 1$ calcula el mes a partir del tiempo de simulación.

- Atributo prob de hospitalizacion; El atributo que determina la probabilidad de ser hospitalizado generado cada que ocurre un evento por medio una distribución discreta con probabilidad etaria de hospitalizacion de sujetos en intervalos cada 20 años descrito según la figura 11. Por lo cual se define el vector de arreglo para almacenar la probabilidad de hospitalizacion según el rango etario de la entidad que esta en atención imagen 11.

Imagen 11

Atributo Probabilidad de hospitalización

Assignments ? X

Type: Attribute ▾ Attribute Name: Prob de hospital ▾

New Value: DISC(0.2, 0.01, 0.4, 0.05, 0.6, 0.12, 0.8, 0.25, 1.0, 0.4)

OK Cancel Help

El atributo de probabilidad se calcula como una probabilidad discreta, donde cada grupo etario tiene una probabilidad de 20%. Al generar un número aleatorio se busca el una probabilidad y se le asigna al paciente. Como se describió en la tabla 10.

- Atributo HoraLlegada TNOW; que es el tiempo en el sistema.

Imagen 12

Hora de llegada

Assignments ? X

Type: Attribute ▾ Attribute Name: HoraLlegada ▾

New Value: TNOW

OK Cancel Help

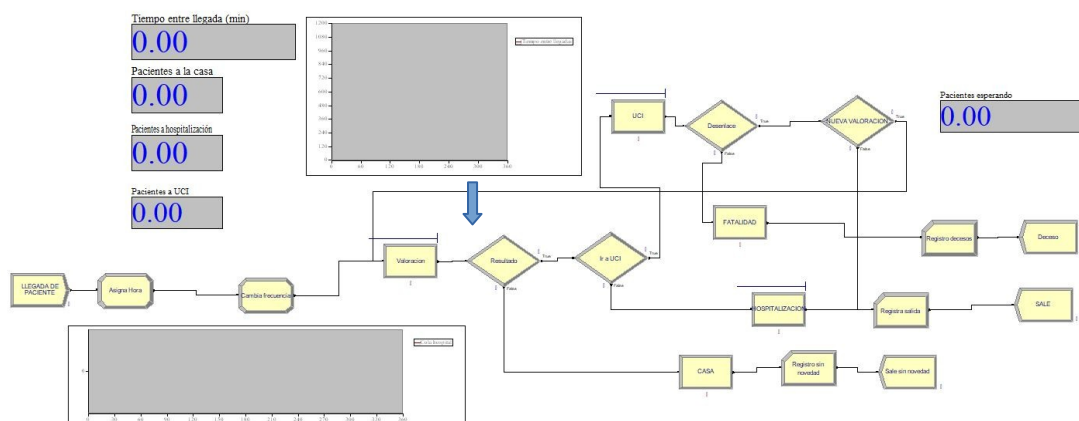
Cuando la entidad ingresa al modulo, el tiempo de registro se establece por medio del atributo, TNOW. Este atributo se puede usar en un modulo registro mediante estadísticas de intervalo .

En Arena los procesos se definen con el objeto Process; los cuales indican el tiempo que deben esperar las entidades (pacientes) para ser tratados por covid-19 y el tiempo que que demoran en el sistema.

El proceso de valoración hace parte de los 5 procesos fundamentales del sistema UCI, Fatalidad, Hospitalización y Casa los cuales serán descritos en el proceso según la interacción del sistema y la entidad.

Imagen 13

Valoración



El modulo Valoración señalado con la flecha azul se encarga de Indicar la cola y el uso de recursos disponibles para la atención del paciente. Arriba de cada proceso se hay una cola que simboliza las filas que se presentan cuando la valoración esta ocupada. La distribución de tiempo con probabilidad normal se estima por un valor medio de 15 minutos con desviación estándar de 2 donde se evaluó el estado del paciente y se le asignan recursos en la imagen 14.

Imagen 14

Creación del proceso Valoración

The screenshot shows the 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name:** Valoracion
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Medium(2)
 - Resources:** Set, Doctores, 1, Smallest Number Busy, <End of list>
- Delay Type:** Normal
- Units:** Minutes
- Allocation:** Value Added
- Value: (Mean):** 15
- Std Dev:** 2
- Report Statistics:** ☒

La acción que realiza la entidad cuando el recurso (Medico) queda disponible es la entidad lo captura (Seize), espera (Delay) mientras el recurso realiza las operaciones con el paciente en consulta, y a continuación libera (Release) el recurso en la distribución de probabilidad normal en el tiempo de la acción con valor medio de 15 minutos y abandona el proceso.

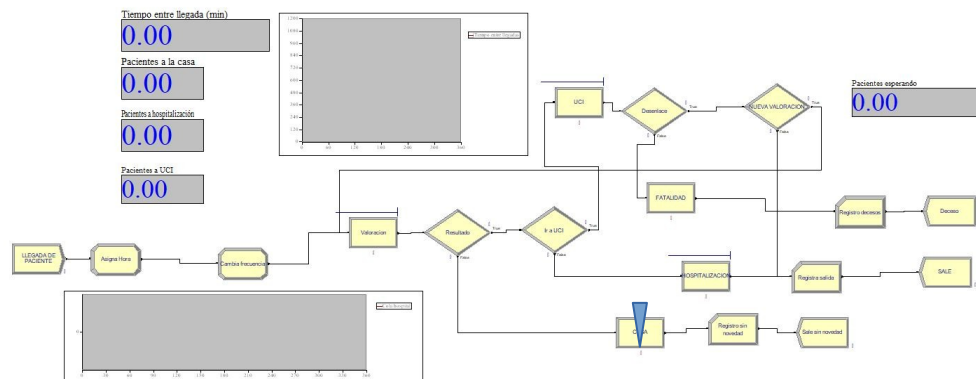
El modulo decide nos sirve para saber que pasa en el sistema cuando una entidad tome una determinada ruta en el caso estudiado se selecciona el tipo 2-way by chance porque se quiere determinar por medio de un porcentaje en los cuatro módulos en la imagen 15.

Imagen 15

Imagen 16

Proceso Casa

Se modela una actividad puesto que una actividad tiene como característica principal que



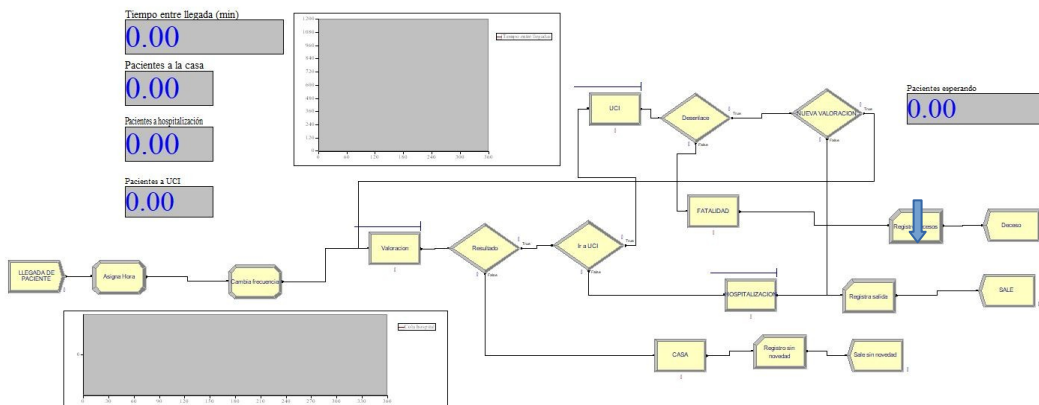
involucra el tiempo o duración de la actividad; la cual se expresa en unidad de minutos ya que los pacientes (entidad) gasta un tiempo en realizar la actividad conocida como Delay. Se estima que esta actividad varias entidades simultáneamente están ingresando al modulo en diferentes etapas.

La entidad circula por un récord llamado Registro sin novedad; para especificar el intervalo entre el tiempo de llegada de la entidad y el tiempo actual de la simulación para la entidad.

Imagen 17

Salida del sistema

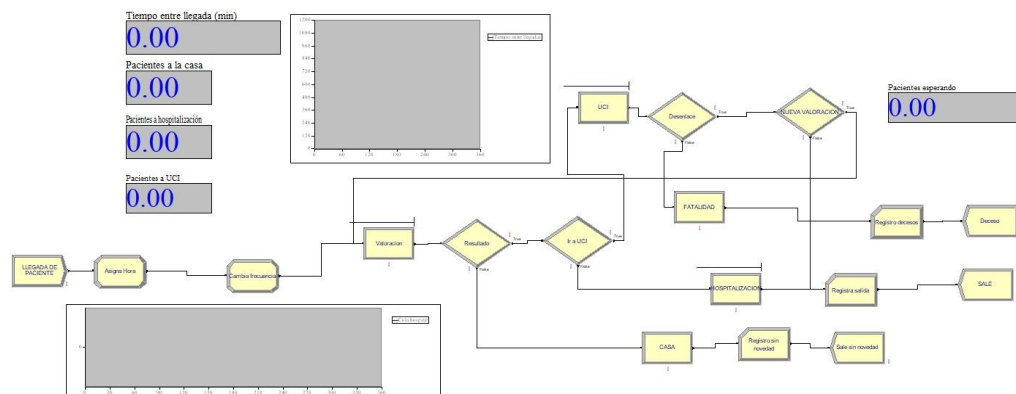
Nota Emite la salida para la entidad.



b) En caso de cumplir la condición para el decide Resultado;

Imagen 18

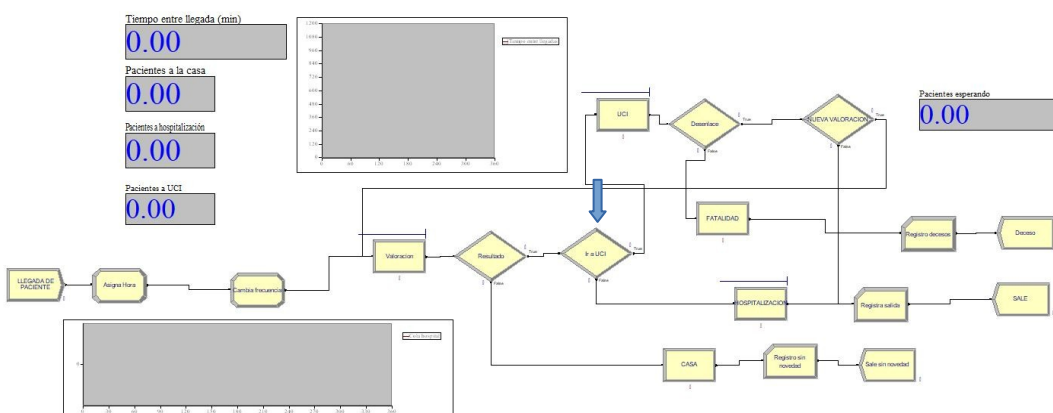
Decide Resultado condición verdadero



Nota Cuando la salida de la entidad toma la ruta verdadero a la condición de probabilidad; Esto quiere decir que la entidad continua su flujo ingresando a otro modulo de decide llamado Ir a UCI.

Imagen 19

Decide Ruta Ir a UCI u Hospitalización

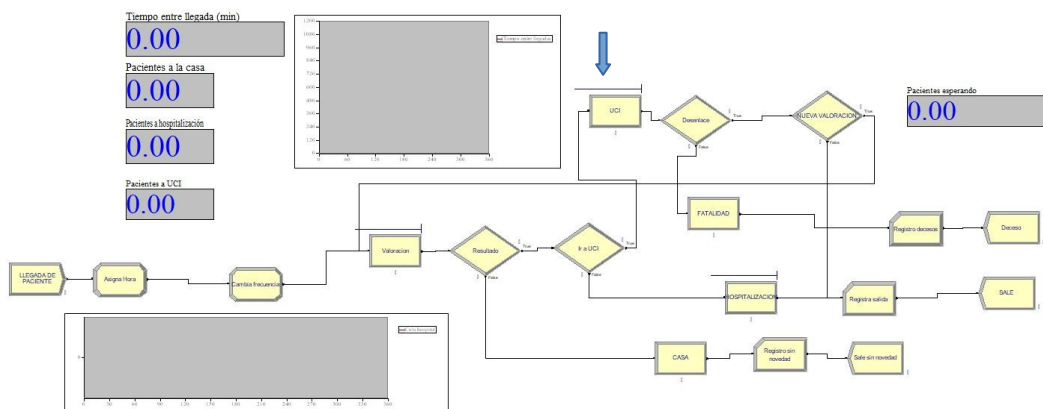


Ir a UCI; Al paciente se le asigna un valor aleatorio; donde el 25% sigue a UCI y el 75% restante pasa a hospitalización. Que quieren decir estos dos caminos; que un 25% de los pacientes deben ser tratados en UCI y el restante debe tener un manejo hospitalario en el proceso hospitalización.

Para entidades con salida verdadera la ruta es Ingreso a UCI; En el cual la entidad hace parte del proceso UCI en la cual se destinan recursos para el tratamiento del diagnosticado.

Imagen 20

Ingreso UCI



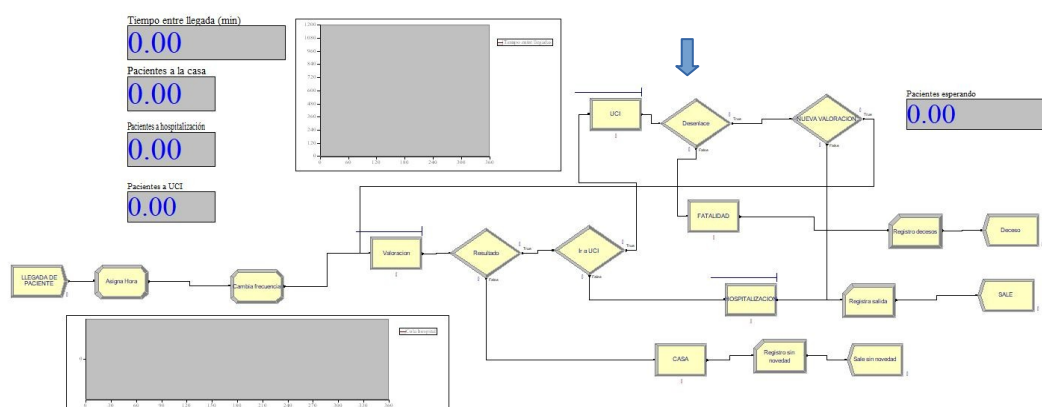
•UCI Los pacientes que pasan por este proceso usan recursos las entidades según unos retrasos establecidos para el manejo del paciente recursos humanos, de infraestructura e información y la acción Seize-Delay Release es decir; usa recurso, retiene y luego lo libera.. Los recursos para cada paciente son camas en el área de UCI con su respectivo panel de control y respirador mecánico, aunque solo utiliza una cama y un respirador a la vez dos recursos se debe tener como Largest Remaining Capacity la consideración de capacidad asignando al paciente el que esté disponible y menos usado .El tiempo de permanencia se distribuye triangularmente de acuerdo a la línea de tiempo del corona virus en el cuerpo aproximadamente dos semanas para casos leves y entre tres a seis semanas para casos complejos definida en el capítulo 2 en la Línea de tiempo del coronavirus dentro del cuerpo.

En este módulos se presenta una cola en caso de que el paciente llegue al proceso y no hayan recursos disponibles; por defecto funciona *FIFO* como funciona en la realidad; el primero que llega es el primero que sale.

Las salidas de este proceso se dan por una decisión llamada Desenlace de dos caminos expresada en un 50% de probabilidad para dos rutas; una verdadera para Nueva Valoración o Fatalidad. Por defecto la probabilidad de 50% cada que ingresa al desenlace se genera aleatoriamente un resultado que hay un 50% que se eruten a mayor proporción. Y las rutas son una nueva valoración o fatalidad Imagen 21.

Imagen 21

Desenlace

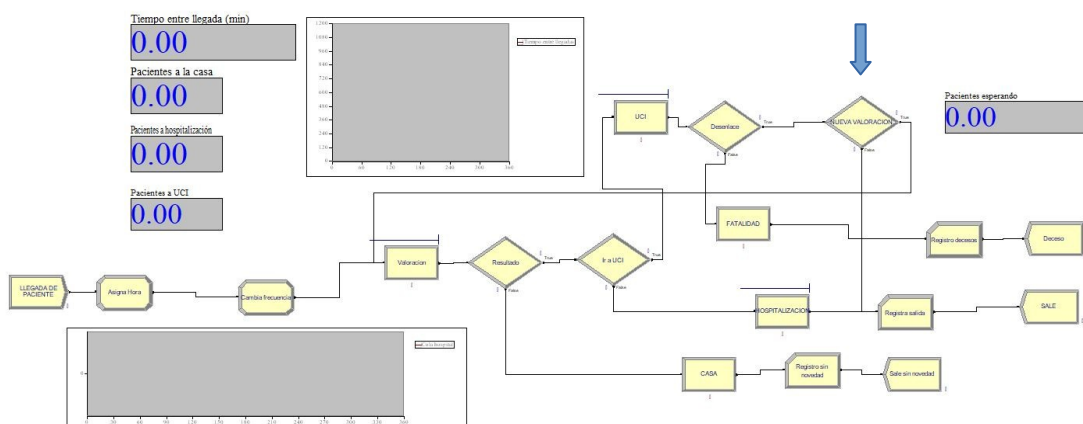


Nota Esto se da ya que todas las entidades tienen atributos diferentes esto corresponde a la diferencia entre pacientes. No todo paciente responde al manejo positivamente por ello se hace necesario evaluar el desenlace para cada entidad.

Por lo cual en verdadero tendremos que la entidad ingresa a otro módulo de decide llamado Nueva Valoración donde la probabilidad de un nuevo manejo esta expresada por un 68 % de que el pacientes tenga una nueva consulta para determinar el diagnostico según su evolución.

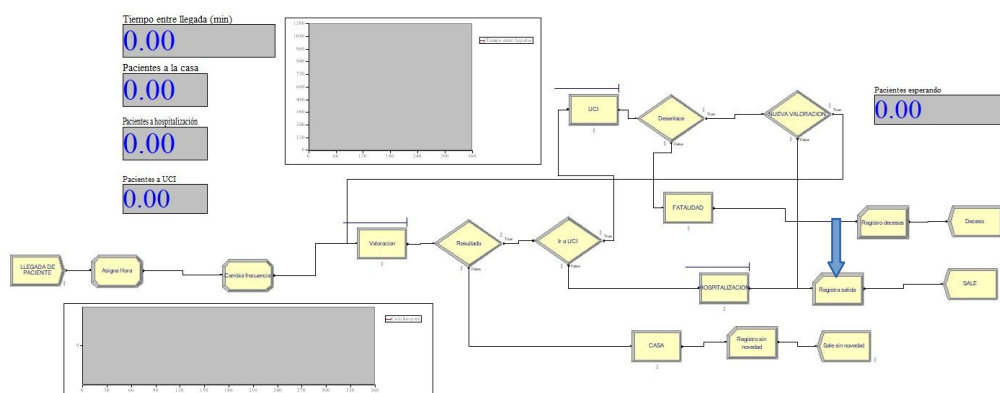
Imagen 22

Nueva Valoración



En caso de salida por falso la entidad ingresa a un Módulo récord para registrar el intervalo entre la hora de salida y la llegada de ese paciente, tal como se ve en la figura 22.

Imagen 23 Salida de Hospitalización



Se realiza la actividad y sale la entidad del sistemas

Cuando la salida es por la condición en falso el proceso lleva las acciones de un paciente que fallece por covid-19. Siendo la ruta el ingreso a el modulo de proceso Fatalidad y registrando el suceso para dar manejo a la salida por Registro de decesos

CAPITULO V

5.1 Análisis de Resultados

Para validar el modelo planteado se realizaron diferentes simulaciones para trata de simular cómo se comporta el sistema, viendo fundamentalmente los tiempos de ejecución, con la variación de parámetros “probabilidad” que relaciona las consideraciones de cada paciente. Podemos hacer varias simulaciones para observar el comportamiento del modelo.

A la hora de realizar experimentos con el modelo hay que tomar decisiones referentes a algunos aspectos relacionados con:

- Las condiciones iniciales que existan: es necesario fijar las condiciones de partida que cada iteración realice y su posible influencia en los resultados.
- Consideraciones realizadas respecto al valor escogido para los parámetros utilizados y la relación entre estos.

Para iniciar la evaluación del sistema es necesario definir la duración y definir cuantas veces queremos evaluar los sucesos por ello la imagen 25 de Run Setup continuación

5.1 Secuencia en entorno grafica del modelo

En la siguiente imagen 25 se pretende describir el flujo de las entidades en el sistema integrando la simulación el entorno grafico.

Imagen 25

Run Setup

Run Setup

Run Speed | Run Control | Reports | Project Parameters

Replication Parameters | Array Sizes | Arena Visual Designer

Number of Replications:

Initialize Between Replications

☒ Statistics ☒ System

Start Date and Time:

Warm-up Period: Time Units:

Replication Length: Time Units:

Hours Per Day:

Base Time Units:

Terminating Condition:

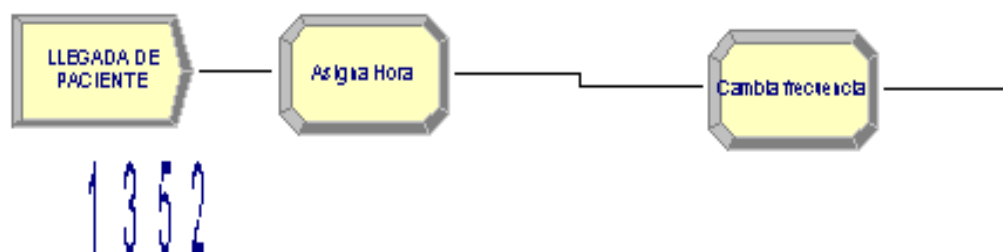
Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

En esta ventana se puede observar el numero 6 de replicaciones que se hicieron; donde cada una dura 360 días de 24 horas. El modelo base cuenta con dos médicos, disponibilidad de camas UCI para tres pacientes covid-19 en área UCI y cinco para hospitalización.

Iteraciones del sistema representadas gráficamente respecto a la entidad en cada módulo de simulación en la atención a pacientes covid-19 diagnosticados.

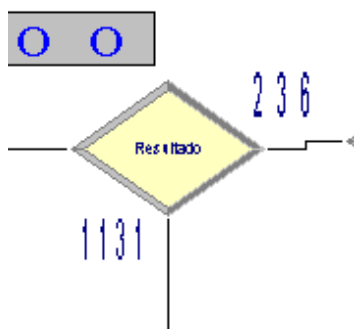
Imagen 26

Pacientes que ingresaron al sistema en una replicación



La captura del sistema en ejecución; Esto quiere decir que se pauso la simulación para ver como circula las entidades por el sistema. Esta Imagen nos describe los pacientes que se generaron para atender 1352 pacientes para consulta.

Imagen 27 Primer filtro por decisión simulada llamada Resultado

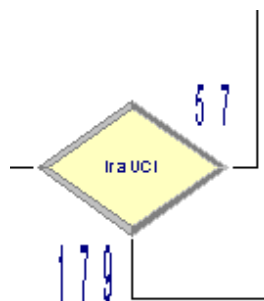


Se puede evidenciar el numero de entidades que sale por falso 1131 van a casa y 236 circulan por verdadero van al decide de Ir a UCI al momento en que se detuvo la simulación. Esto quiere decir que ya tenemos en circulación por el sistema 15 pacientes.

Para lo cual veremos que esta ocurriendo en la siguiente decisión.

Imagen 28

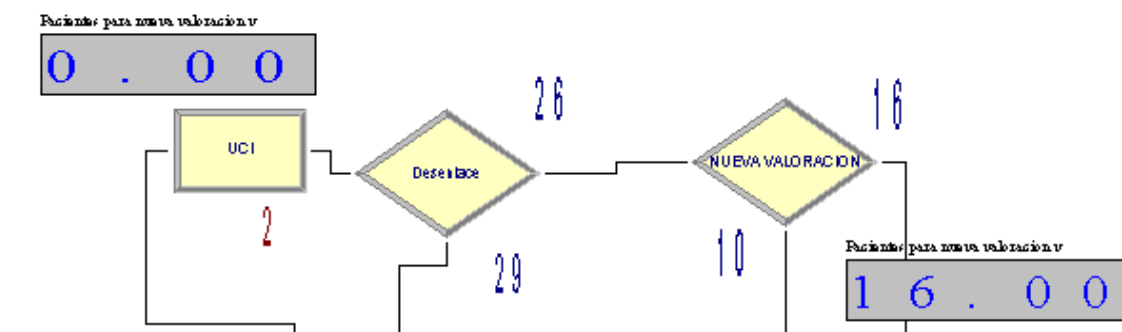
Segundo filtro por decisión simulada llamado Ir a UCI



Se observa 57 entidades con salida verdadera a la condición, estas entidades pasan a observación y manejo en UCI de las 236 que se capturaron en la simulación y 179 pasan a Hospitalización. Por lo cual haremos seguimiento a estas entidades por las dos salidas iniciando en la salida verdadera.

Imagen 29

Entidades en Proceso UCI



Nota en el proceso tenemos dos pacientes en manejo esto quiere decir que de los 57 pacientes que ingresaron al proceso ya circulan 55 en el siguiente modulo llamado Desenlace.

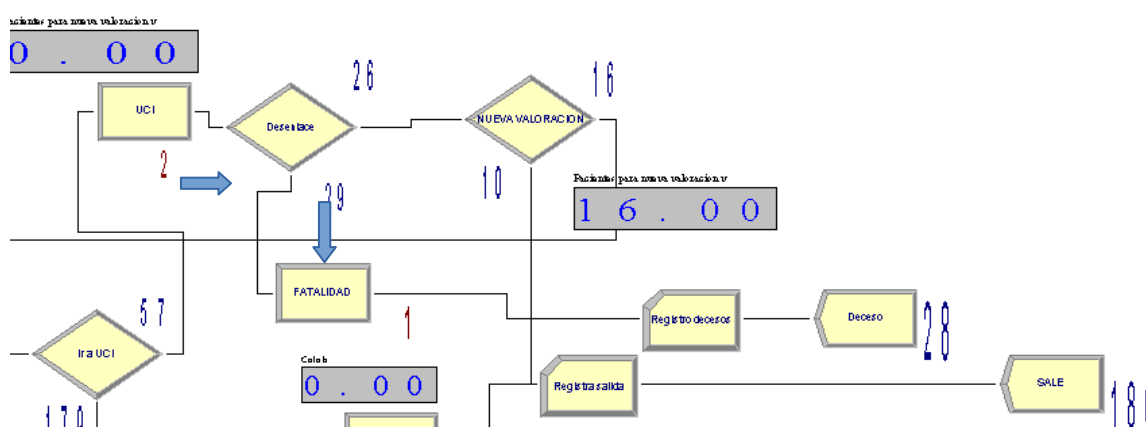
Decide llamado desenlace ; en la captura de la simulación 26 de los 57 pacientes que ingresaron a UCI requieren de una nueva valoración esto podría significar que el paciente

requiere de una nueva consulta dado el comportamiento del virus en el organismo y los 29 pacientes restantes de ajustan a un nuevo proceso llamado Fatalidad.

Tendremos en consideración los pacientes que salen del modulo Nueva Valoración por verdadero se evidencia que se distribuyen 16 por salida verdadera estos pacientes podrían ser pacientes positivos para covid-19 y necesitar un nuevo manejo o podrían presentar fallas en el sistema debido al virus pero el paciente ya no es diagnosticado positivos para covid lo cual se tiene en consideración en el modulo decide de Valoración si bien entonces el restante de pacientes de Nueva Valoración 10 por salida falsa al proceso llamado Registro de Salida esto quiere decir que es un paciente que se le da el alta y sale del sistema lo cual significa que solo el 17% de los pacientes que ingresaron a UCI se recuperan. Veamos el flujo por falso en el decide de Desenlace en la imagen 30.

Imagen 30

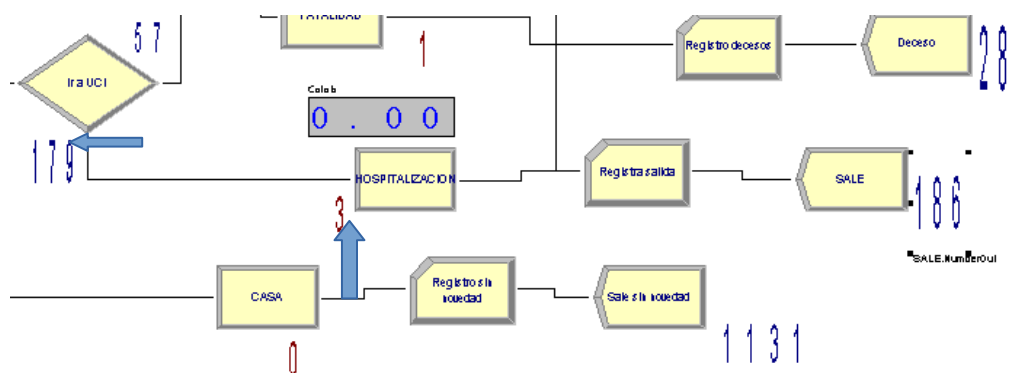
Desenlace condición falsa



Las 29 entidades que ingresaron a Desenlace son pacientes que no evolucionaron favorablemente esto quiere decir que en esta captura el 50% de pacientes que ingresaron a UCI murieron a causa del virus. En la captura se ven en salida deceso 28 esto quiere decir que hay un paciente en el proceso llamado Fatalidad.

Imagen 31

Ingreso a Hospitalización



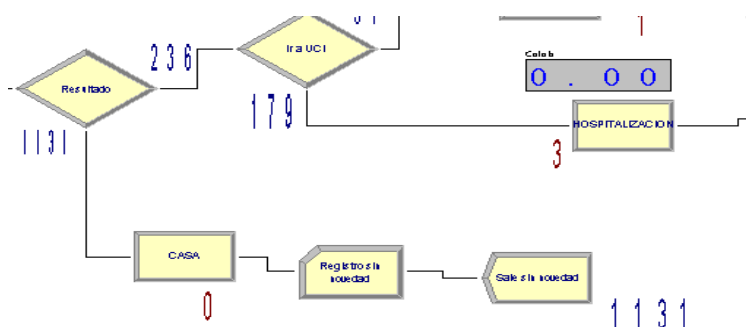
179 pacientes son ingresados al modulo hospitalización. Sin embargo al momento de la captura están hospitalizados 3; esto quiere decir que 176 de los pacientes ya fueron dados de alta o requieren de una nueva valoración. Para este caso los 176 pacientes fueron dados en alta ya que la totalidad de registros indica la salida de 186 pacientes es decir que son 176 pacientes que estaban en manejo hospitalización más los 10 de UCI.

Si bien la consideración es que la entidad circula por una condición falsa en la decisión

Resultado

Imagen 32

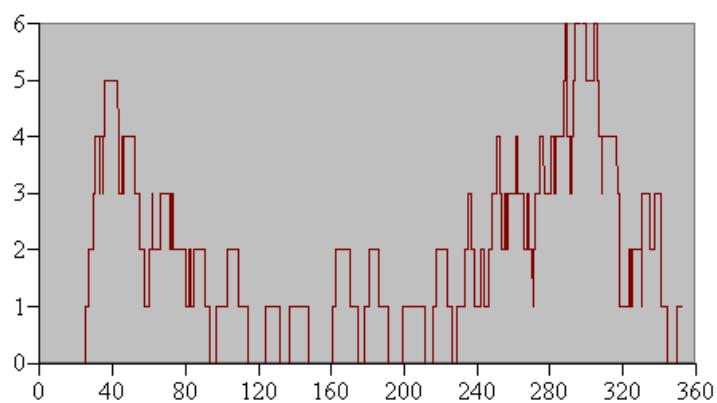
Manejo en casa.



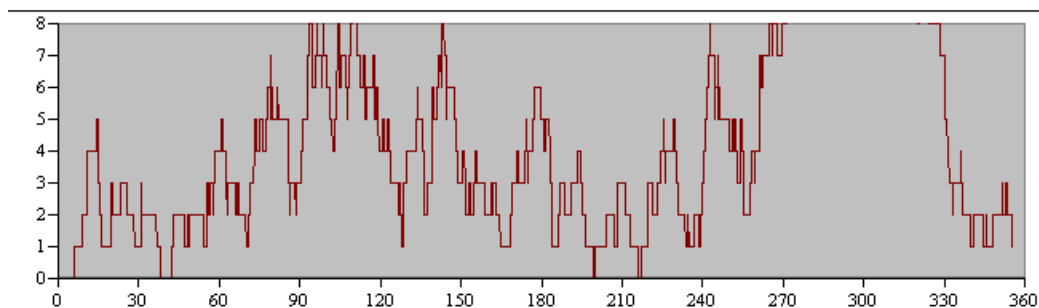
Indica que de las 1131 entidades que ingresaron al sistema el manejo se da en casa por lo tanto salen del sistema. Por medio de indicadores de espera (colas) en la grafica 7.

Grafica 7

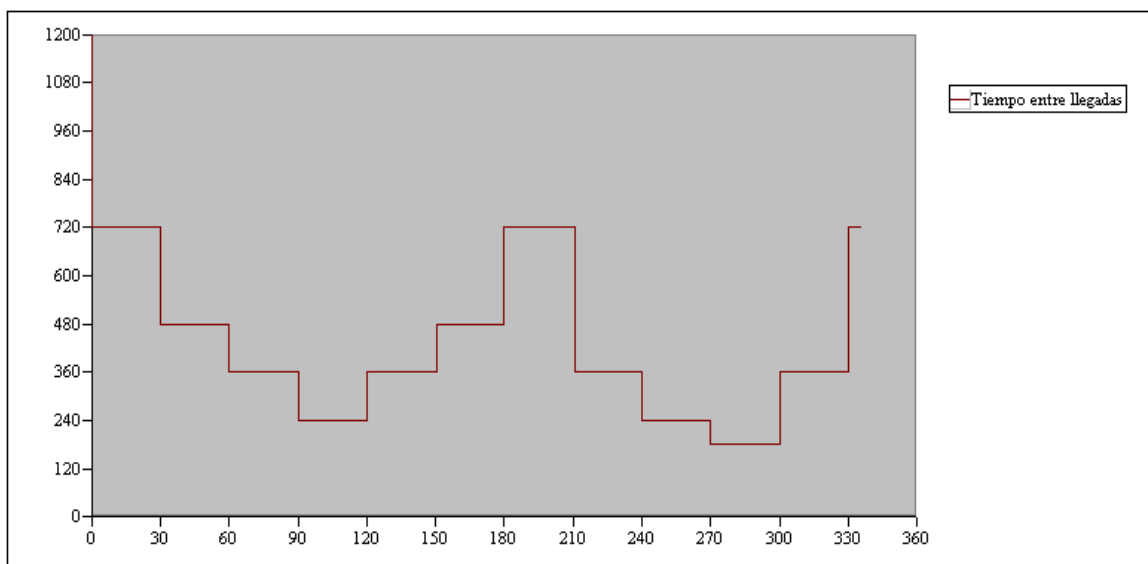
Comportamiento de la Cola en UCI para la simulación



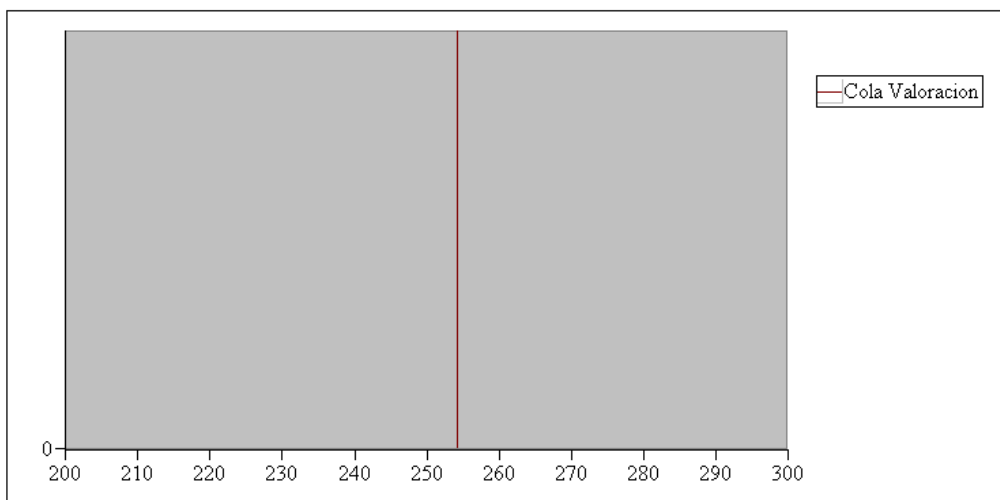
La grafica muestra picos durante los meses uno, dos, diez y once aproximadamente con el mismo aforo; con mayor gravedad en el mes diez.

*Grafica 8**Comportamiento de la Cola en Hospitalización*

El mes con mayor cola de hospitalización es el diez superando el máximo de recursos en este área tal como se evidencio en la grafica 6. Lo cual demuestra que no es suficiente los recursos existentes ya que supera por encima de 5 unidades para la atención de los pacientes en este mes durante la replicación del año simulado.

*Grafica 9**Tiempo entre llegadas*

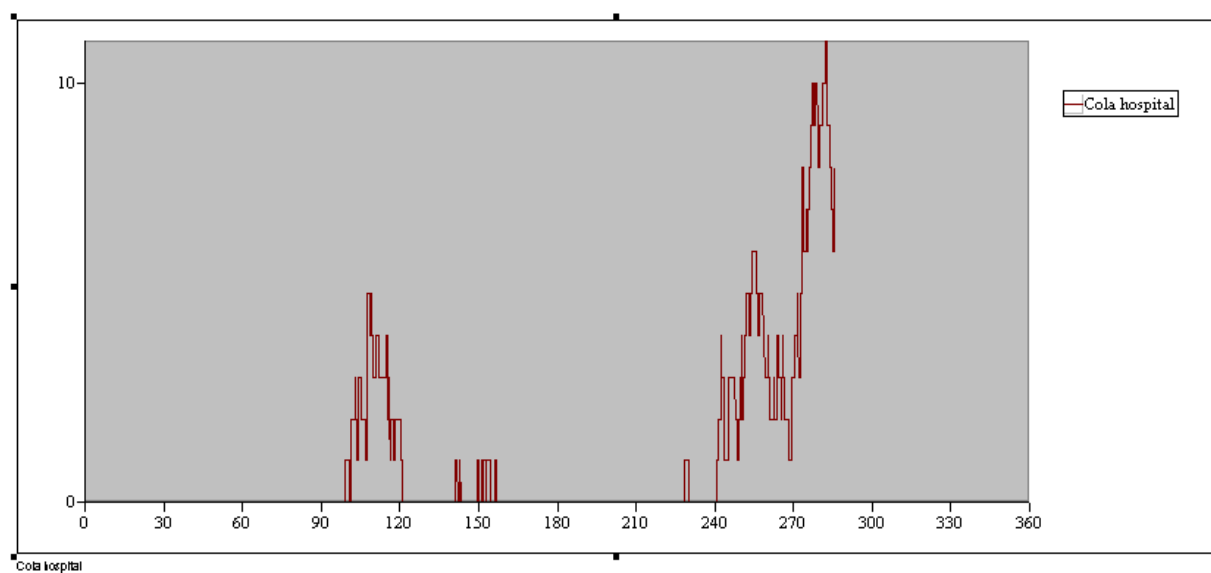
Los cambios entre llegadas de las entidades en el periodo de un año respecto a el tiempo medido en minutos. En esta grafica se observan durante el tercer mes y el noveno mes que las llegadas de pacientes al centro más frecuentes lo cual demanda mayor uso de recursos en la unidad sanitaria.

Grafica 10 Cola en Valoración

Nota Algo relevante en el proceso es que en la cola inicial de valoración; si este módulo presenta colas quiere decir que el sistema a colapsado. Por lo tanto no se fija una unidad en el eje Y ya que es una representación para la evidenciar el mayor flujo de pacientes en el sistema

Grafica 11

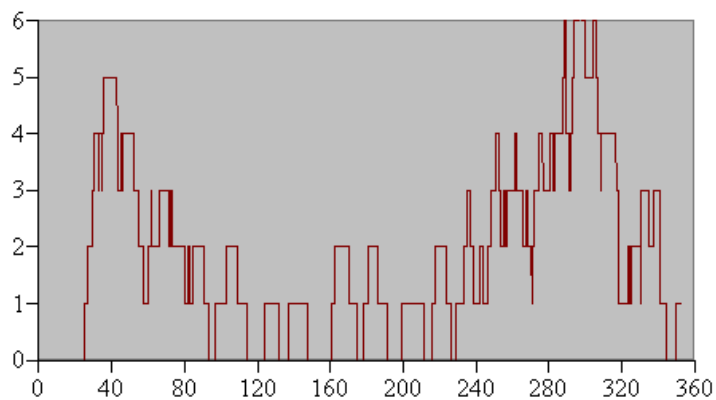
Estado de colas en la cuarta replicación



La cola de hospitalización entre el mes nueve y diez lo cual permite evidenciar el efecto de los picos donde el contagio es elevado. Por lo cual toda la entidad no soporta para atender todos los casos.

Grafica 12

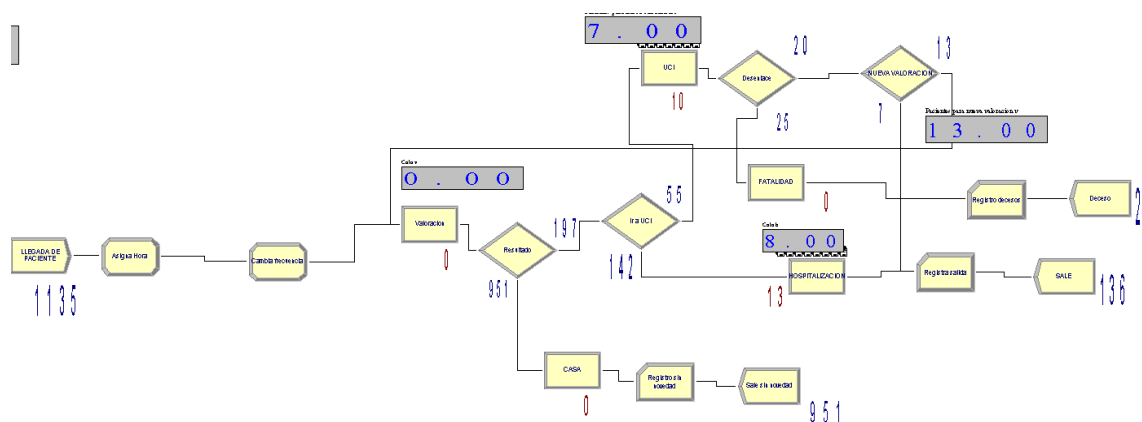
Picos de colas UCI



Los picos de colas se presentan entre los meses dos, nueve hasta once recordemos que los recursos son tres unidades en UCI. Esto significa que la cantidad de pacientes superó la capacidad hospitalaria modelada.

Imagen 33

Colapso del sistema en la cuarta replicación



Nota La captura indica que en UCI se encuentran hospitalizados 3 pacientes y 7 de ellos están en espera para el manejo. Mientras que en Hospitalización tenemos 5 hospitalizados y 8 están en cola. Y 13 de los pacientes requieren una nueva valoración.

Cuando el tiempo entre llegadas es de 180 minutos y el registro del sistema tiene 55 pacientes a UCI, 142 pacientes a hospitalización y 951 paciente enviados a casa.

5.2 Análisis de reporte de salida

Arena tiene tres tipos de reportes, reportes de entidades, reportes de filas y reportes de recursos lo que nos permite analizar a través de entradas y salida la efectividad del proceso actual.

El reporte de Entidades y la productividad del modelo en la imagen 34.

Imagen 34

Análisis por paciente

Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.2165	0.07	1.1230	1.2832	0.01536087	26.1189
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.5533	0.28	0.2106	0.9439	0.00	31.0194
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.7699	0.33	1.3337	2.2137	0.01536087	45.9109
Other						
Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
PACIENTE	1441.17	28.94	1414.00	1482.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
PACIENTE	1439.00	29.56	1411.00	1481.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	7.0825	1.22	5.5031	8.7090	0.00	31.0000

El reporte de Entidades que entraron fue de 1482 y salieron 1481 en un tiempo de transferencia 31 minutos. Se observa que el nivel de productividad del proceso en relación a la entrada y salida del sistema es bueno. Los tiempos de servicio en promedio de dos días con 50 minutos tiempo de servicio.

Imagen 35

Análisis por proceso

Replications: 6 Time Units: Days

Process						
Time per Entity						
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CASA	0.01041667	0.00	0.01041667	0.01041667	0.01041667	0.01041667
FATALIDAD	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HOSPITALIZACION	6.3640	0.16	6.1177	6.5182	2.2510	9.8619
UCI	9.5362	0.16	9.3714	9.7948	5.5325	13.7234
Valoracion	0.01041321	0.00	0.01036338	0.01044162	0.00494420	0.01532564
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION	3.3747	1.41	1.1522	4.9395	0.00	20.3740
UCI	3.0349	3.48	0.4339	9.5183	0.00	26.1803
Valoracion	0.00000443	0.00	0.00	0.00001252	0.00	0.00886555
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CASA	0.01041667	0.00	0.01041667	0.01041667	0.01041667	0.01041667
FATALIDAD	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HOSPITALIZACION	9.7387	1.50	7.2699	11.2692	2.3422	28.1187
UCI	12.5711	3.41	10.2287	18.9448	5.5325	36.4972
Valoracion	0.01041764	0.00	0.01036541	0.01044552	0.00494420	0.01776177
Accumulated Time						

Se observa que el tiempo que tarda en ser atendida un paciente en los procesos así: para hospitalización mínimo dos días y máximo nueve días. En UCI cinco días y máximo 13 días .

Las esperas por cada proceso así; en Hospitalización 1 hora con 20 minutos y 55 minutos a UCI.

Se observa que el 84% de los pacientes atendidos son enviados a casa, 12 % de pacientes salen de hospitalización y 0,2% Salen de UCI. Por lo tanto la fatalidad es de 3,8% de esa simulación.

Imagen 36

Colas en los procesos

Values Across All Replications

Unnamed Project						
Replications: 6		Time Units: Days				
Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION.Queue	3.3489	1.41	1.1522	4.9395	0.00	20.3740
UCI.Queue	2.9898	3.42	0.4284	9.3718	0.00	26.1803
Valoracion.Queue	0.00000443	0.00	0.00	0.00001252	0.00	0.00886555
Other						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION.Queue	1.6897	0.73	0.5441	2.5932	0.00	15.0000
UCI.Queue	0.5113	0.63	0.06889493	1.6921	0.00	9.0000
Valoracion.Queue	0.00001775	0.00	0.00	0.00005012	0.00	1.0000

Aquí se observa el tiempo de cola de cada proceso; el cuello de botella del proceso se da en la cola de UCI. El tiempo que espera un paciente por proceso así: tres días para hospitalización y dos días en UCI.

El tamaño promedio de cola fue; Un día en hospitalización y 51 minutos en UCI

Imagen 37

Indicadores para recursos

Estadísticas asociadas al uso de Recursos

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CamaH1	0.8035	0.02	0.7730	0.8242	0.00	1.0000
CamaH2	0.7268	0.04	0.6900	0.7867	0.00	1.0000
CamaH3	0.6355	0.05	0.5634	0.7055	0.00	1.0000
CamaH4	0.5463	0.05	0.4815	0.6035	0.00	1.0000
CamaH5	0.4676	0.06	0.3647	0.5396	0.00	1.0000
CamaU1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
CamaU2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
CamaU3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000
Doctor1	0.04011344	0.00	0.03954719	0.04148043	0.00	1.0000
Doctor2	0.00205980	0.00	0.00182719	0.00235415	0.00	1.0000
Resp1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
Resp2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
Resp3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CamaH1	0.8035	0.02	0.7730	0.8242	0.00	1.0000
CamaH2	0.7268	0.04	0.6900	0.7867	0.00	1.0000
CamaH3	0.6355	0.05	0.5634	0.7055	0.00	1.0000
CamaH4	0.5463	0.05	0.4815	0.6035	0.00	1.0000
CamaH5	0.4676	0.06	0.3647	0.5396	0.00	1.0000
CamaU1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
CamaU2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
CamaU3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000
Doctor1	0.04011344	0.00	0.03954719	0.04148043	0.00	1.0000
Doctor2	0.00205980	0.00	0.00182719	0.00235415	0.00	1.0000
Resp1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
Resp2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
Resp3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000

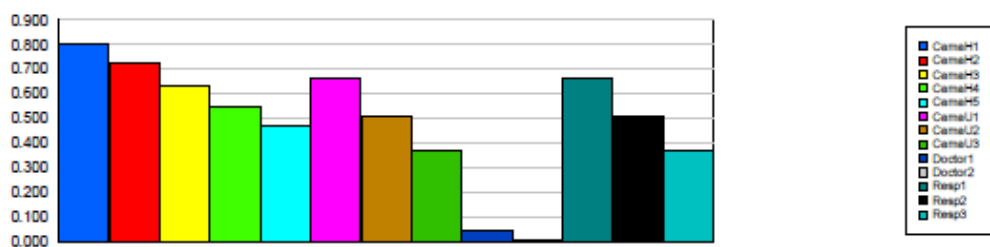
Factores de Uso para cada recurso; El recurso más utilizado es Cama de Hospitalización una ocupación de 0.63%. El menos utilizado son los médicos 0.03%.

Grafica 13

Utilización programada de porcentajes

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CamaH1	0.8035	0.02	0.7730	0.8242
CamaH2	0.7268	0.04	0.6900	0.7867
CamaH3	0.6355	0.05	0.5634	0.7055
CamaH4	0.5463	0.05	0.4815	0.6035
CamaH5	0.4676	0.06	0.3647	0.5396
CamaU1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442
CamaU2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422
CamaU3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367
Doctor1	0.04011344	0.00	0.03954719	0.04148043
Doctor2	0.00205980	0.00	0.00182719	0.00235415
Resp1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442
Resp2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422
Resp3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367



Se observa que el recurso más utilizado es cama hospitalización 1 y los menos utilizados son los médicos. Es decir que se hace necesario considerar la compra de recursos como camas.

Imagen 38

Tiempo en el sistema para pacientes con deceso, hospitalización y los que salen a la casa.

User Specified						
Tally						
Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
TDecesos	14.1326	4.94	11.3686	23.3667	6.8766	40.3847
THospital	10.1326	1.49	7.6288	11.4915	2.3534	45.9109
TSinNovedad	0.1374	0.04	0.0988	0.2055	0.01536087	31.7612

Nota El promedio de tiempo que una entidad fallezca en promedio es de 14 días en promedio, hospitalización 10 días y sin novedades 3 horas.

CAPITULO VI

6. RESULTADOS DEL MODELO ALTERNATIVO

El conjunto de recursos se utilizó en base a la información referente a una entidad prestadora de servicio; en consideración a la simulación se evidencio un cuello de botella en la UCI por lo cual se propone incrementar la cantidad de recursos con la finalidad de evitar el colapso del sistema. El desarrollo de este modelo da respuesta al objetivo final del proyecto.

6.1 Conjunto de recursos de muestrar

Camas UCI con un incremento de dos lo que a su vez aumenta los respiradores mecánicos en la misma cantidad es decir dos. Con un total de cinco camas UCI. Y un aumento de camas para hospitalización pasando de cinco a diez.

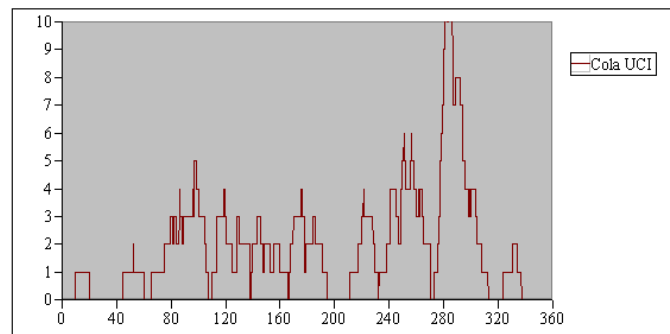
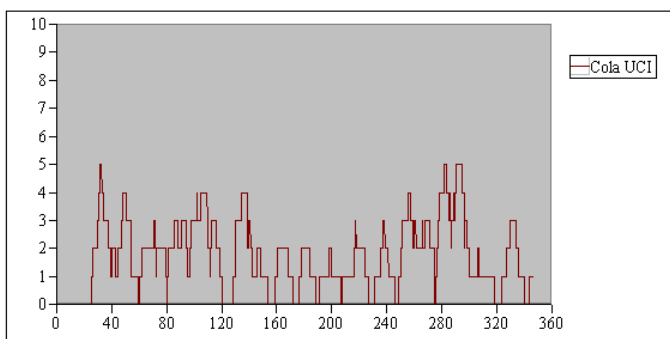
Imagen 39

En la siguiente imagen podremos apreciar el aumento de los recursos camas y respiradores de la siguiente forma:

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Doctor1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
2	Doctor2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
3	CamaH1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
4	CamaH2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
5	CamaH3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
6	CamaH4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
7	CamaH5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
8	CamaU1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
9	CamaU2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
10	CamaU3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
11	Resp1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
12	Resp2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
13	Resp3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
14	CamaU4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
15	CamaU5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
16	Resp4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
17	Resp5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
18	CamaH6	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
19	CamaH7	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
20	CamaH8	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
21	CamaH9	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
22 ▶	CamaH1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
Double-click here to add a new row.									

Grafica 14

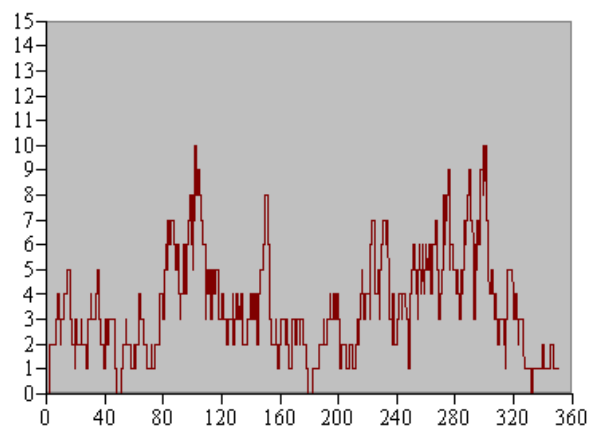
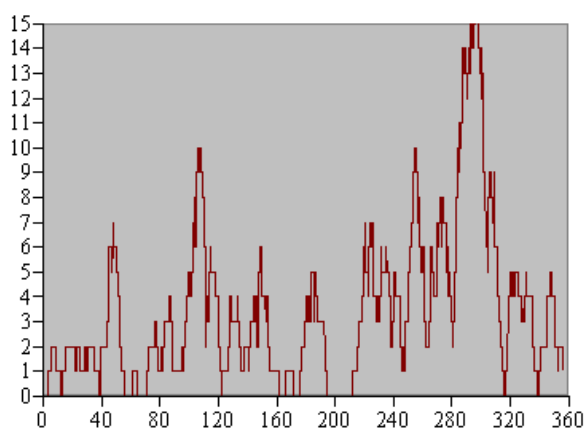
Cola UCI



.En estas graficas podemos observar durante la simulación en una de las replicas es evidente que el modelo cubre las necesidades de camas UCI, sin embargo la siguiente replica muestra dos intervalos de casos de colas de pacientes pues la cobertura es menor a la demanda. Es decir la imagen de la izquierda que corresponde a las colas de UCI en determinado momento de la simulación indica que el sistema cubre las necesidades de la población mientras que la imagen de la derecha muestra que para el siguiente año no cubre las necesidades pues sobrepasa la ocupación.

Grafica 15

Cola Hospitalización



Estas réplicas del comportamiento de colas durante el año vemos que la replica a no cubre las necesidades durante el mes 10; sin embargo la replica b cubre sin embargo estas corresponden al mismo modelo. Es posible afirmar que la productividad respecto a los recursos de hospitalización tiene buen nivel.

Imagen 40

Estadísticas por paciente

Modelo uno

Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.2165	0.07	1.1230	1.2832	0.01536087	26.1189

Modelo dos

Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.2802	0.03	1.2330	1.3255	0.01531023	20.3044

El tiempo en que las entidades son atendidas en el modelo dos varia un 0.037% respecto al primer modelo esto muestra que la productividad del primer modelo en medida de tiempo para atender es más rápida que el modelo dos y la diferencia es de aproximadamente 7 minutos.

Modelo uno

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.5533	0.28	0.2106	0.9439	0.00	31.0194

Modelo dos

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	0.02019662	0.02	0.00071308	0.04500280	0.00	11.1358

En relación al tiempo que espera el paciente en ser atendido es menor en el segundo modelo aproximadamente 0.020 en promedio. Lo cual muestra que el proceso es más ágil ya que es ampliada la cobertura con recursos lo cual apoya la incertidumbre que mejoraría la calidad y oportunidad de recuperación de más pacientes. Mientras que el modelo uno tarda 0.55 días.

Modelo uno

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.7669	0.33	1.3337	2.2137	0.01536087	45.9109

Modelo dos

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
PACIENTE	1.3004	0.04	1.2587	1.3668	0.01531023	22.1817

El tiempo total en el sistema del modelo 1.7699 día y del modelo dos es 1.3004 día por lo tanto la diferencia del tiempo total en el sistema en promedio para los pacientes es aproximadamente 4695 días más efectiva en el modelo dos.

Modelo uno

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
PACIENTE	1441.17	28.94	1414.00	1482.00
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
PACIENTE	1439.00	29.56	1411.00	1481.00

Modelo dos

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
PACIENTE	1458.33	34.32	1422.00	1514.00
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
PACIENTE	1455.83	34.45	1419.00	1511.00

Pacientes que ingresaron 1.448, pacientes que salieron 1.446 del modelo uno y pacientes que ingresaron 1.468 pacientes que salieron 1.465 del modelo dos. De donde se puede observar que el ingreso al modelo dos aumento una cantidad de 1.36% respecto al modelo uno solo para el ingreso de pacientes lo cual es proporcional a la salida.

*Imagen 41**Procesos*

Modelo uno

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CASA	0.01041667	0.00	0.01041667	0.01041667	0.01041667	0.01041667
FATALIDAD	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HOSPITALIZACION	6.3640	0.16	6.1177	6.5182	2.2510	9.8619
UCI	9.5362	0.16	9.3714	9.7948	5.5325	13.7234
Valoracion	0.01041321	0.00	0.01036338	0.01044162	0.00494420	0.01532564
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION	3.3747	1.41	1.1522	4.9395	0.00	20.3740
UCI	3.0349	3.48	0.4339	9.5183	0.00	26.1803
Valoracion	0.00000443	0.00	0.00	0.00001252	0.00	0.00886555

Modelo dos

Time per Entity

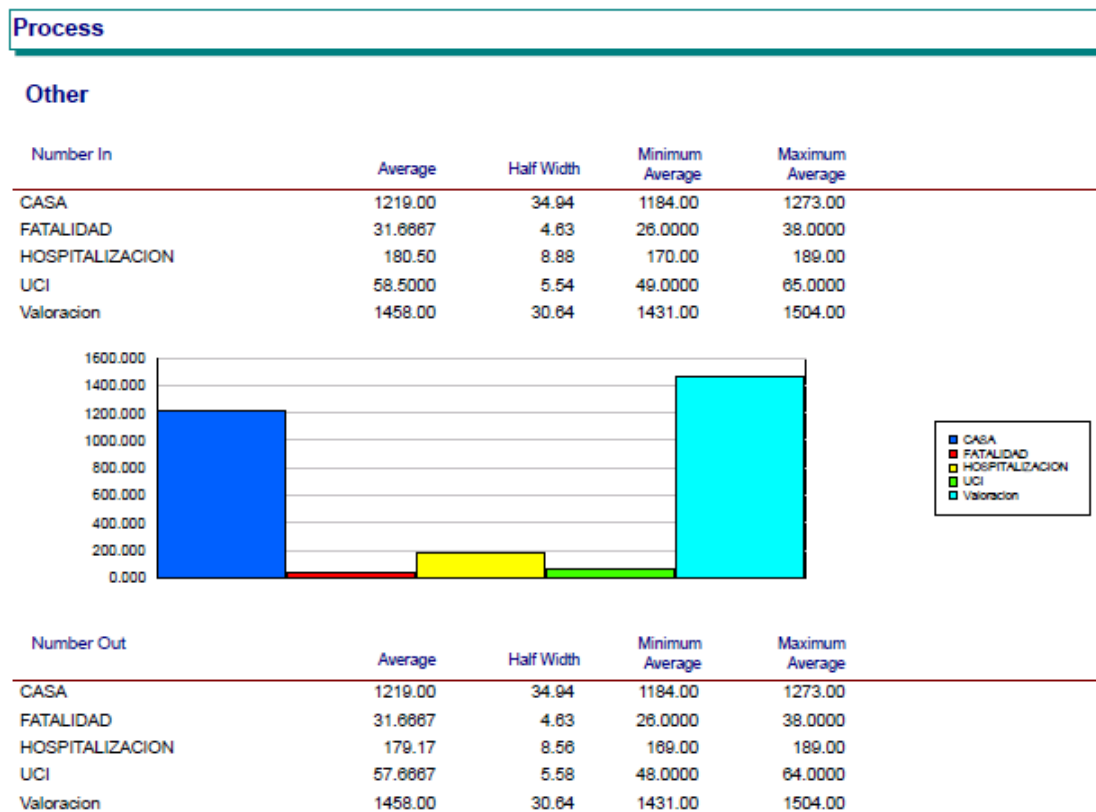
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CASA	0.01041667	0.00	0.01041667	0.01041667	0.01041667	0.01041667
FATALIDAD	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HOSPITALIZACION	6.4448	0.15	6.2632	6.6021	2.3431	9.9094
UCI	9.5739	0.23	9.3070	9.9530	5.5325	13.6141
Valoracion	0.01040649	0.00	0.01038981	0.01043084	0.00489357	0.01587658
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION	0.07078765	0.14	0.00	0.3399	0.00	4.7855
UCI	0.2587	0.37	0.00	0.9359	0.00	11.1358
Valoracion	0.00000351	0.00	0.00	0.00000724	0.00	0.00849729

Nota Tiempo de servicio, discriminado por cada proceso. 9 días de hospitalización modelo dos 8 días de hospitalización en el modelo uno. 12 días en el modelo uno y 13 días para UCI en el modelo dos. La diferencia es aproximadamente de un día en el tiempo para cada proceso.

Tiempo de espera, discriminado por proceso. 5 días en hospitalización para el modelo 2 días en hospitalización. En UCI 4 días en modelo uno y un día en UCI. En cuanto al tiempo de espera podremos afirmar que en el modelo dos casi no hay espera.

Imagen 42

Pacientes atendidos



Nota Las dos graficas muestran el comportamiento similar ya que la recuperación del paciente se por el mismo manejo.

Imagen 43

Colas

Modelo uno

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION.Queue	1.6897	0.73	0.5441	2.5932	0.00	15.0000
UCI.Queue	0.5113	0.63	0.06869493	1.6921	0.00	9.0000
Valoracion.Queue	0.00001775	0.00	0.00	0.00005012	0.00	1.0000

Modelo dos

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOSPITALIZACION.Queue	0.03585839	0.07	0.00	0.1681	0.00	7.0000
UCI.Queue	0.04640000	0.07	0.00	0.1664	0.00	6.0000
Valoracion.Queue	0.00001423	0.00	0.00	0.00002898	0.00	1.0000

Tamaño promedio de la cola hospitalización del modelo uno es de 1.6897 días y en el modelo alternativo 0.03585 donde la efectividad del modelo dos sobre sale ya que no se genera colas grandes en este proceso. En UCI el modelo uno tiene un retraso en colas de 0.5113 días mientras que el modelo alternativo 0.0464 días aproximadamente la mitad.

*Imagen 44**Uso de Recursos*

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CamaH1	0.8035	0.02	0.7730	0.8242	0.00	1.0000
CamaH2	0.7268	0.04	0.6900	0.7867	0.00	1.0000
CamaH3	0.6355	0.05	0.5634	0.7055	0.00	1.0000
CamaH4	0.5463	0.05	0.4815	0.6035	0.00	1.0000
CamaH5	0.4676	0.06	0.3647	0.5396	0.00	1.0000
CamaU1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
CamaU2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
CamaU3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000
Doctor1	0.04011344	0.00	0.03954719	0.04148043	0.00	1.0000
Doctor2	0.00205980	0.00	0.00182719	0.00235415	0.00	1.0000
Resp1	0.6647	0.05	0.5883	0.7442	0.00	1.0000
Resp2	0.5060	0.05	0.4238	0.5422	0.00	1.0000
Resp3	0.3655	0.05	0.2808	0.4367	0.00	1.0000

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CamaH1	0.7428	0.03	0.6867	0.7705	0.00	1.0000
CamaH10	0.04939684	0.03	0.02042124	0.0912	0.00	1.0000
CamaH2	0.6369	0.06	0.5546	0.7235	0.00	1.0000
CamaH3	0.5466	0.06	0.4770	0.6388	0.00	1.0000
CamaH4	0.4453	0.03	0.4132	0.4726	0.00	1.0000
CamaH5	0.3613	0.03	0.3200	0.3978	0.00	1.0000
CamaH6	0.2279	0.03	0.1923	0.2646	0.00	1.0000
CamaH7	0.1822	0.05	0.1122	0.2450	0.00	1.0000
CamaH8	0.1281	0.03	0.1066	0.1811	0.00	1.0000
CamaH9	0.07947116	0.04	0.02976517	0.1259	0.00	1.0000
CamaU1	0.5952	0.06	0.5560	0.7120	0.00	1.0000
CamaU2	0.4584	0.08	0.3672	0.5586	0.00	1.0000
CamaU3	0.2926	0.04	0.2543	0.3691	0.00	1.0000
CamaU4	0.2008	0.05	0.1260	0.2766	0.00	1.0000
CamaU5	0.0939	0.03	0.05130327	0.1315	0.00	1.0000
Doctor1	0.04062466	0.00	0.03968295	0.04282303	0.00	1.0000
Doctor2	0.00209077	0.00	0.00172422	0.00239216	0.00	1.0000
Resp1	0.5952	0.06	0.5560	0.7120	0.00	1.0000
Resp2	0.4584	0.08	0.3672	0.5586	0.00	1.0000
Resp3	0.2926	0.04	0.2543	0.3691	0.00	1.0000
Resp4	0.2008	0.05	0.1260	0.2766	0.00	1.0000
Resp5	0.0939	0.03	0.05130327	0.1315	0.00	1.0000

Factores de uso, La ocupación de camas en hospitalización durante el año fue de 0,63% para pacientes covid-19 modelo uno y La ocupación de camas en hospitalización de las primeras 5 camas se reduce un 9% para el modelo dos y la ocupación de camas pacientes covid-19 en total es de los dos modelos reduce un 30% la ocupación.

La ocupación de los recursos fue de 0,51% para el modelo uno y una diferencia de consumo de recursos en 7% para las tres camas principales cambiando de 0,51% a 0,44% en el modelo dos.

*Imagen 45**Promedio de tiempo para los pacientes*

Modelo uno

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
TDecesos	14.1326	4.94	11.3686	23.3667	6.8766	40.3847
THospital	10.1326	1.49	7.6288	11.4915	2.3534	45.9109
TSinNovedad	0.1374	0.04	0.0988	0.2055	0.01536087	31.7612

Modelo dos

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
TDecesos	10.9505	0.36	10.6348	11.5683	6.8421	22.1817
THospital	6.9276	0.20	6.7649	7.2939	2.3534	20.3800
TSinNovedad	0.1332	0.02	0.1079	0.1585	0.01531023	16.3607

Nota Se observó que solo en decesos en promedio se reduce la fatalidad de 6.27 en fatalidad del modelo uno que es de 17.36 respecto a 11.09 del modelo dos por lo cual mejora el servicio. Y una diferencia de 2.53 en pacientes hospitalizados respectivamente.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta las ventajas de utilizar la simulación como herramienta de proyecto, se puede aplicar para facilitar proyectos de inversión. Este trabajo tuvo como objetivo construir un modelo de simulación para evaluar el desarrollo de las actividades y procedimientos en la atención de pacientes diagnosticados covid-19, lo cual fue cumplido con éxito.

La importancia de establecer las características para estructurar modelos de eventos discretos a través de redes de procesos de atención para la enfermedad Coronavirus 2019 (COVID 19).

La recopilación de datos para eventos que han sido poco estudiados podría modificar con facilidad el proceso puesto que la inflación requiere de análisis que toman tiempo y no son estables.

Con el soporte y uso de la herramienta Arena se realiza el modelamiento, facilitando la identificación de los impactos de acuerdo a los distintos escenarios planteados para tener como resultado una mejora de eficiencia en el uso de los recursos.

Por lo que podemos concluir que, el uso de un modelo de simulación de eventos discretos, en la atención a pacientes covid-19, nos ha permitido evaluar las distintas variables y proponer mejoras en el proceso.

La simulación en su amplia aplicación es una gran herramienta de mucha importancia en la vida cotidiana para ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo en algunos aspectos llevarlos luego a la práctica lo que permite establecer mejoras.

CONTRIBUCIONES

Modelado de la prestación de servicios de salud a pacientes covid-19. En sanidad contribuye evaluar estadísticas sobre la cobertura de atención a ciudadanos cuantificando criterios para la distribución de recursos. Incentivar el registro para mantener actualizados los registros y catálogos de recursos humanos, técnicos y científicos de la capacidad instalada de salud que prestan atención a las urgencias para que contribuya a reducir la mortalidad, la morbilidad y sus complicaciones. Posibilidad de ejecutar nuevos proyectos a partir del modelo de simulación.

PERSPECTIVAS

Si bien el presente proyecto no soluciona el problema, ya que esto está ligado a factores económicos, ofrece una gran contribución ante la emergencia sanitaria. Por qué basado en el modelo de simulación obtenido, es posible implementar alternativas para ampliar la cobertura para cada tipo de proceso operacional y de esta manera garantizar las condiciones sanitarias de la población, con el objetivo de determinar la mejor distribución de tiempos de espera para el manejo. Es posible realizar experimentos; como ser nuevas alternativas de inversión; Integración del sistema con un sistema rea a través de un experimento de simulación.

BIBLIOGRAFÍA

Ocupación de camas UCI llega al 100 % en Casanare, según gobernación. (2021, 2 de Mayo). Infobae. <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/05/02/ocupacion-de-camas-uci-llega-al-100-en-casanare-segun-gobernacion/>.

Ocupación de camas UCI en Bogotá está en 96,4%. (2021, 24 mayo). Capital. <https://conexioncapital.co/ocupacion-de-camas-uci-en-bogota-esta-en-964/>.

Coronavirus Colombia: mapa de clasificación por municipios según la afectación. (2020, 11 de Julio). Tikitakas. https://colombia.as.com/colombia/2020/07/11/tikitakas/1594489808_695333.html.

Evolución de afectación de los municipios por Covid-19. (2020, 13 de Julio). SISPRO.
<https://sig.sispro.gov.co/afectacionCovid/>

Minsalud explicó parámetros de riesgo para municipios en el marco del covid-19. (2020, 8 de Julio). Minsalud. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-explico-parametros-de-riesgo-para-municipios-en-el-marco-del-covid-19.aspx>.

MUNICIPIOS DE COLOMBIA SEGÚN SU AFECTACIÓN POR COVID-19.(2021, 13 de mayo). Minsalud.
<https://minsalud.maps.arcgis.com/apps/dashboards/e18894fa4dd546d094e8267179562413>.

Faulín, J. Introducción a la Investigación Operativa. (2005).
<http://www.cyta.com.ar/ta0405/v4n5a1.htm>

Los nombres de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y del virus que la causa. (s.f.). Scribbr. [https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it).

Los nombres de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y del virus que la causa. (s.f.). Organización Mundial de la Salud. Scribbr. [https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)

Coronavirus. (s.f.) Organización Panamericana de la Salud. Scribbr.
<https://www.paho.org/es/temas/coronavirus>.

Mandal A.(s.f.). Clasificación del virus. News medical life sciences. Scribbr.
[https://www.news-medical.net/health/Virus-Classification-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Virus-Classification-(Spanish).aspx).

SARS-CoV-2: ¿qué hay en el nombre?.(2020, 3 de Marzo). Scribbr.
<https://espanol.medscape.com/verarticulo/5905107>.

Rivera, S. (2020, 30 de Marzo). Línea de tiempo del coronavirus dentro del cuerpo, de infección a recuperación o muerte. Los Angeles Times Scribbr.
<https://www.latimes.com/espanol/california/articulo/2020-03-30/linea-de-tiempo-del-coronavirus-dentro-del-cuerpo-de-infeccion-a-recuperacion-o-muerte>.

Pavlicich, V. (2014, 10 de septiembre). Triage en la emergencia. SAP.ORG:AR. Scribbr.
https://www.sap.org.ar/docs/congresos_2014/Emergencias%20y%20Cuidados%20Criticos/PDFs/pavlicich_triage.pdf

CAMAS PARA UCI Y VENTILADORES, LOS MÁS SOLICITADOS EN CHILE PARA PACIENTES GRAVES POR COVID-19. (2020, Marzo). El hospital. Scribbr.

<https://www.elhospital.com/temas/Camas-para-UCI-y-ventiladores,-los-mas-solicitados-en-Chile-para-pacientes-graves-por-COVID-19+133810>

Proyecto de respiradores artificiales a bajo costo. (2021, Febrero). El hospital. Scribbr. <https://www.elhospital.com/temas/Proyecto-de-respiradores-artificiales-a-bajo-costo+136880>.

Organización Mundial de la Salud. (s.f). Scribbr [https://www.who.int/topics/health_workforce/es/#:~:text=El%20personal%20sanitario%20son%20%C2%ABtodas,salud%20en%20el%20mundo%202006\).](https://www.who.int/topics/health_workforce/es/#:~:text=El%20personal%20sanitario%20son%20%C2%ABtodas,salud%20en%20el%20mundo%202006).)

Método FIFO (PEPS) Gestión Almacén: Qué es y cuando se utiliza. (2019, 29 de Julio). Arracking. Scribbr <https://www.ar-racking.com/pe/actualidad/blog/soluciones-de-almacenaje-2/metodo-fifo-peps-gestion-almacen-que-es-y-cuando-se-utiliza>

Simulación (s.f). Concepto Definición. Scribbr <https://conceptodefinicion.de/simulacion/>

Arena(s.f) Software de simulación de procesos comerciales. Areana. Scribbr <https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/business-process-modeling-software>

Arena(s.f) Software de simulación de eventos discretos. Areana. Scribbr <https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>

Herramientas básicas de simulación en Arena (2016, 5 de abril). Simulacioncota. Scribbr.
<https://simulacioncota.wordpress.com/2016/04/05/herramientas-basicas-de-simulacion-en-arena/>