# IDENTIFICACIÓN DEL PROGRAMA / PROYECTO

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| * 1. **Información General** | | |
| xx  Programa Proyecto | Tipo de informe: Parcial Final x | Informe No. 3 de 3 |
| Título | Plataforma web para la recolección de datos, visualización, análisis, predicción y evaluación de estrategias de control de la enfermedad producida por SARS-CoV-2 mediante herramientas de modelación matemática, simulación e inteligencia artificial | |
| Código | 1216101576695 | |
| Número de la convocatoria | MinCienciatón | |
| Número de contrato | 357-2020 | |
| Programa Nacional o área de Minciencias al cual se encuentra adscrito el proyecto | Dirección de Inteligencia de Recursos de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTeI) | |
| Nombre del investigador principal | María Eugenia Puerta Yepes | |
| Entidades ejecutoras y beneficiarias | Universidad EAFIT | |
| Fecha de inicio del programa/proyecto | 8 de mayo de 2020 | |
| Fecha de entrega del informe | 8 de diciembre 2020 | |
| Ciudad/País | Medellín/Colombia | |

# TABLA DE CONTENIDO

Resumen 2

Sinopsis técnica 4

Cumplimiento de los objetivos: general 5

Cumplimiento de los objetivos: específicos 5

Descripción de otros resultados obtenidos 19

Resultados adicionales 19

Cumplimiento de la metodología 20

Cronograma de ejecución a la fecha, dificultades y plan de contingencia 24

Proyección de los resultados 32

Aspectos financieros 32

Discusión, análisis y conclusiones 33

Siglas y abreviaturas 40

Referencias bibliográficas 40

Lista de anexos 47

# RESUMEN

El COVID-19 es un síndrome respiratorio producido por el virus SARS-CoV-2, el cual se originó en la ciudad de Wuhan en la provincia china de Hubei a finales del año 2019. Aún se desconocen el origen directo de dicho virus, pero ha tenido una alta capacidad de infección y expansión debido a tres rutas conocidas de infección: (i) contacto cercano con personas infectadas, (ii) inhalación de microgotas en el ambiente generadas por las personas que cargan con el virus y (iii) contacto con superficies contaminadas con el virus. Adicionalmente, se han registrado personas que no presentan un cuadro clínico y que pueden transmitir la enfermedad, estas personas se denominan asintomáticas, según reportes en china se han llegado a presentar más de mil casos de este tipo, siendo un gran riesgo por su difícil detección y su contribución a la expansión de la enfermedad. Otro factor importante de esta enfermedad es que la mortalidad debido a ésta es mayor en grupos sensibles, aquellos como adultos mayores y que padecen de condiciones graves preexistentes como diabetes, hipertensión, cáncer, enfermedades crónicas respiratorias, entre otras. Esta enfermedad fue catalogada como una pandemia el 11 de marzo del 2020.

Por otra parte, las diferentes pandemias ocurridas en la historia han cambiado drásticamente el rumbo de las civilizaciones, no solo debido a los impactos directos en la salud de la población, sino también en las dinámicas sociales y económicas. El costo de una pandemia “mal manejada” va mucho más allá de vidas perdidas y crisis sanitarias, pues tomar decisiones a la ligera pueden conllevar al fin de una sociedad. El manejo de una pandemia se hace mucho más crítica y compleja en regiones como Latinoamérica, en donde prevalece una alta desigualdad social, desempleo y empleo informal, sistemas de salud frágiles, y limitadas capacidades de investigación para el desarrollo de tratamientos. Adicionalmente, existe también incertidumbre ligada a las costumbres sociales, el clima, etc., que pueden llevar a que una pandemia se comporte de forma diferente a lo que se ha observado en otros países.

El manejo de un sistema tan complejo requiere entonces el uso de herramientas más allá de la intuición humana para soportar la toma de decisiones. Particularmente en este momento urgen herramientas que permitan evaluar estrategias para responder al COVID-19 y lograr aplanar la curva epidemiológica en las diferentes regiones. Las herramientas de modelación matemática permiten entender las complejidades de los sistemas, ciclos de realimentación, efecto de retardos, entre otros, y permiten predecir comportamientos contraintuitivos de la población y resultados no deseados de una política en diferentes escalas espaciales y temporales.

En este proyecto se consideran diversas aproximaciones metodológicas como Modelación Matemática, Simulación Basada en Agentes, Sistemas Dinámicos, Dinámica de Sistemas, Inteligencia Artificial, Estadística y Teoría de control. Cada una de ellas estará integrada en un módulo de la plataforma web que servirá para apoyar las decisiones de alcaldes, gobernadores y en general tomadores de decisiones a nivel nacional, en la prevención y mitigación de la pandemia de COVID-19.

Con la plataforma web, los tomadores de decisiones tendrán, a partir de la plataforma web, la posibilidad de experimentar con estrategias para aplanar la curva de prevalencia a nivel nacional, detectar a nivel nacional puntos con alta densidad de individuos contagiados a nivel espacial donde se deban tomar medidas de control específicas, observar como de manera espacial se propaga el virus con datos de una ciudad como Medellín, evaluar diferentes estrategias que puedan tener efectos sobre la dinámica de propagación del virus y predecir con base a la información nacional los casos de contagio diario.

El presente informe corresponde al segundo del proyecto, de acuerdo a lo acordado con Minciencias en la carta de inicio de contrato del proyecto; cubre solo los aspectos técnicos, pues los financieros han sido reportados por aparte. Su contenido y anexos muestran, de acuerdo al plan de trabajo enviado, que los resultados previstos se alcanzaron o superaron.

# SINOPSIS TÉCNICA

El proyecto considera varias componentes asociadas directamente con el desarrollo de la plataforma web y a los objetivos del proyecto, ellas son:

* **Entendimiento de la propagación del virus en una ciudad:** Se tiene completo del modelo conceptual del COVID-19 ABMS. En esta especificación se incluyó la historia natural básica de la enfermedad, las rutinas de los ciudadanos dentro de la ciudad (desplazamientos entre hogares y lugares de trabajo), y las interacciones entre agentes que determinan la propagación del virus en un entorno urbano. A su vez, se llevó a cabo una revisión de literatura en la cual se realizó una caracterización básica de la pandemia de COVID-19, de tal manera que se identificaron aspectos como la infecciosidad, el período de incubación y la duración de la infección. Al mismo tiempo, se diseñó la arquitectura de los modelos siguiendo el esquema 4+1 vistas. Allí, se plantearon las guías de transformación y se establecieron las fases de la implementación técnica del modelo en *Repast Simphony* Java. De la misma forma, se realizó una prueba de concepto del modelo en *Repast HPC* (High Performance Computing) la cual resultó exitosa. Tomando como referencia el modelo conceptual, el diseño arquitectónico, y los parámetros epidemiológicos tomados de la literatura, se está desarrollando el modelo COVID-19 ABMS en la plataforma *Repast Simphony* Java. Hasta el momento se tiene implementada una versión funcional con los comportamientos claves de los agentes y sus interacciones en un contexto urbano geoespacial. En el momento, estamos trabajando en la recolección y análisis de los resultados.
* **Dinámica de sistemas, una visión holística para dimensionar los efectos colaterales de las decisiones en medio de la pandemia:** Este módulo de la plataforma presenta un mapeo de todas las relaciones causales entre epidemia-sector salud – sector socioeconómico identificadas en el proyecto, que se resumen en un diagrama causal. Para explicar dicho diagrama se presenta en la página web una visita guiada que explica cada uno de los ciclos de realimentación. El módulo también presenta un simulador online genérico y parametrizable a cualquier región urbana, y un modelo calibrado para la ciudad de Medellín y Barranquilla. Estos elementos también se pueden consultar y utilizar en en el módulo “Efectos colaterales” de la plataforma web. El modelo matemático detrás de estos simuladores considera, además del modelo de contagios, un modelo de flujo de pacientes a través del sistema hospitalario, tanto pacientes con COVID-19 como pacientes de otras enfermedades que requieren hospitalización y UCI. El modelo considera los efectos de la falta de atención en la mortalidad, pues incluye un modelo de gestión de la capacidad disponible. Dado lo anterior, el modelo también permite simular el impacto de la saturación del sistema sobre la desatención a otras enfermedades. Se cuenta con un submodelo de muestreo y detección y una estimación de costos del sector salud para atención a COVID-19. El componente socioeconómico permite analizar efectos de la enfermedad y de las medidas de aislamiento en el desempleo, empleo informal, productividad de las empresas y consumo de la población, categorizado en 10 sectores económicos. Dado que el objetivo de este módulo es entender las complejidades e identificar posibles efectos colaterales, la validación del modelo se centró en validar su estructura causal y matemática a través de validación teórica (literatura) y empírica (observación y discusión con expertos). Para validar el comportamiento del modelo se realizó un proceso de calibración con los datos históricos de Medellín y Barranquilla.
* **Pronóstico de casos:**  Se tiene una versión actualizada (recalibrada) del modelo temporal univariante de tipo exponencial q-deformado de tres parámetros, para explicar el comportamiento dinámico del número de casos diarios, recuperados y fallecidos reportados del Covid-19 para Colombia; el modelo recoge información de los datos históricos de casos reportados y permite hacer pronósticos diarios a un nivel de confianza del 95% con errores inferiores al 5% así como pronósticos semanales, a un nivel de confianza del 95% con errores que van desde el 0.01% hasta máximo 10%. Esta versión ya está implementada en la plataforma web. Se realizaron varios experimentos numéricos con ventanas móviles para pronóstico y validación de casos, recuperados y fallecidos, de hasta 5 días adelante con errores relativos inferiores al 5%. Esta variante del modelo q-exponencial es más útil en la fase de aplanamiento de las curvas y está en proceso de implementación en la web. El modelo puede ser adaptado a regiones geográficas como departamentos, ciudades principales y municipios, siempre y cuando las curvas cumplan algunas condiciones mínimas asociadas con su frecuencia, concavidad y longitud; los pronósticos para estas nuevas regiones geográficas se estarán incorporando en la página web en la medida en que se calibren los parámetros para cada una de sus curvas.
* **Inteligencia artificial para el análisis de los datos y búsqueda de patrones:** En esta área desarrollamos cuatro subproyectos. El primero es un m*odelo predictivo del riesgo de muerte a causa de Covid-19*; este subproyecto está terminado y se encuentra ya en la plataforma web. El segundo es un *mapa de vulnerabilidad de Covid-19*; este subproyecto está terminado y se encuentra en la plataforma web. Particularmente, este modelo describe el comportamiento en el tiempo de un grupo de variables socioeconómicas (su evolución) de los departamentos de Colombia, debido al efecto de las variables del modelo SEIRD que describen la dinámica del Covid-19. El tercero es un *modelo para monitorear las emociones de la población sobre Covid-19,* utilizando Twitter; este subproyecto está terminado y se encuentra en la plataforma web. El cuarto es un *modelo de predicción de variables SEIRD con aprendizaje automático;* este subproyecto está terminado y se encuentra en la plataforma web. Este proyecto predice el comportamiento de las variables SEIRD bajo un enfoque diferente a los modelos matemáticos que se encuentran en la literatura, ya que usa técnicas de aprendizaje automático. Pero, adicionalmente, hace un análisis de dependencia de dichas variables con ellas mismas y con variables del entorno usando técnicas estadísticas, para determinar las variables de las que depende cada variable SEIRD, y así definir modelos predictivos más precisos. Adicionalmente, se han redactado artículos científicos con los resultados, para la divulgación de cada uno de los cuatro subproyectos.
* **Modelo para entender la curva epidémica y el efecto de las políticas públicas sobre ella:** Se ha logrado la tercera versión de la estructura del modelo de transmisión de la enfermedad. La concepción del modelo se puede ver en el anexo de E1. En este modelo se incorporan las políticas públicas asociadas a cuarentena y protocolos de bioseguridad y las distintas fuentes de contagio además de las migraciones y fechas de inicio y finalización de una política, que claramente tiene un efecto en la aparición de los distintos picos de la pandemia y en relación con la cantidad de susceptibles. Se han validado y estimado los parámetros para cada localidad y se ha automatizado el proceso. Se tiene su implementación en la plataforma web, donde se pueden evaluar los efectos de cambio de política y ver el efecto sobre la curva epidémica con datos de Colombia y algunas ciudades. Estamos actualizando todas las localidades con la nueva versión del modelo.

# CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

## 5.1. Cumplimiento del(os) objetivo(s) general(es)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO GENERAL:** | Construir una plataforma web para la recolección de datos, visualización, análisis, predicción y evaluación de estrategias de control de la enfermedad producida por SARS-CoV-2 mediante herramientas de modelación matemática, simulación e inteligencia artificial. | | | | **% de cumplimiento:** | 75% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **DIFICULTADES** | **OBSERVACIONES** | | |
| A la fecha se tiene un piloto de software en el que se han implementado herramientas en las que subyacen modelos matemáticos y de inteligencia artificial. Este software tiene componentes en construcción y en otras componentes se hacen ajustes de acuerdo a las versiones mejoradas de los modelos que las soportan. En la mayoría de sus componentes es disponible para cualquier persona con un dispositivo móvil con acceso a internet. [https://epidemiologia-matematica.org/](http://arxiv.org/abs/2005.02859) y otra ruta donde tenemos otros modelos en pruebas y que no aparecen en producción. En algunos objetivos se podrán ver los links respectivos. | | Los soportes que evidencian la obtención de los resultados están discriminados encada uno de los objetivos que se describen a continuación. |  |  | | |

## Cumplimiento de los objetivos específicos

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 1:** | Desarrollar un modelo de *Simulación Basada en Agentes* (ABMS) que permita observar la dinámica de la propagación del COVID-19 y experimentar con estrategias para retrasar, contener, y reducir la propagación en un entorno urbano y así aplanar la curva epidémica. | | | **% de cumplimiento:** | 100% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** | |
| Modelo conceptual y revisión de literatura | | Informe con modelo conceptual (ODD) de modelo Covid-19 del modelo ABMS | *Ver carpeta “Anexo ABMS”*   * Documento B1 * Documento B5 * Documento B9 | El modelo conceptual ODD incluye la actualización de las variables de estado de los agentes y los comportamientos de los agentes.  La revisión de literatura se divide en dos partes:  1. Revisión de estrategias de mitigación en modelos ABMS para COVID-19.  2. Revisión de modelos matemáticos de la propagación del COVID-19. | |
| Bases de datos necesarias para el desarrollo del modelo acerca de casos de contagio a nivel mundial  Informe con análisis estadístico de los datos | | Informe con la recolección de los datos de entrada del modelo correspondientes a la historia natural de la enfermedad considerando diferentes países y edades.  Informe con análisis de literatura relevante para modelar el comportamiento sociodemográfico de las personas en tiempos de pandemia | *Ver carpeta “Anexo ABMS”*   * Documento B2 * Documento B3 | Se realizó un reporte que incluye el análisis de los datos de entrada para el modelo. Este informe incluye una descripción de las fuentes de datos y un análisis estadístico de las variables de tiempos de descarga y confirmación. En el documento, se detalla el proceso de ajuste de las distribuciones estadísticas asociadas a procesos epidémicos acompañado con gráficas y estadísticos que soportan las decisiones de modelamiento.  Se realizó el resumen y análisis del artículo Papageorge, et al. (2020) para evaluar cómo factores sociodemográficos influyen en el comportamiento de las personas en tiempos de pandemia. Este artículo incluye estadísticas y conclusiones de la adopción de medidas de protección y cambios en las condiciones laborales según los ingresos de las personas en EEUU. Esta revisión se realizó con el fin de implementar situaciones similares en el modelo ABMS COVID-19. | |
| Modelo ABMS computacional en Repast Simphony | | Modelo computacional ABMS en *Repast Simphony* (JAVA) con escenario con estrategias de mitigación  Modelo computacional en HPC con historia natural de la enfermedad y políticas de mitigación | *Ver carpeta “Anexo ABMS”*   * Enlace al repositorio:   Modelo Java: <https://github.com/dromero1/geo-urban-covid19>  Modelo HPC: [https://github.com/juanscr/covid-abms/tree/dev-jame](https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7)   * Documento B6 * Documento B7 | * A partir del modelo base se integraron 2 tipos de estrategias de mitigación de la enfermedad. Para esto, se desarrolló un modelo de gestión de estrategias que permite programar eventos que cambian las reglas de movimiento de los ciudadanos durante la simulación. El nuevo esquema permite configurar las franjas de tiempo de las estrategias. Algunas de las estrategias implementadas son pico y cédula, cuarentena total. * Se implementó la historia natural dentro de la geografía. * Se realizaron pruebas variando las políticas y el número de agentes. * Se incluyeron nuevas dinámicas asociadas a las características socioeconómicas de los habitantes de la ciudad. En particular, la probabilidad del cumplimiento de normas y el uso de máscaras dependen del estrato (basado en el estudio de Papageorge et al., 2020). | |
| Resultados de la verificación, calibración, validación, y experimentación considerando diferentes estrategias de mitigación | | Informes con los resultados del modelo en *Repast Simphony* de verificación, calibración, validación, y experimentación considerando diferentes estrategias de mitigación. | *Ver carpeta “Anexo ABMS”*   * Documento B4 * Documento B7 * Documento B8 | * Se realizó un reporte que incluye el análisis de los datos de salida del modelo ABMS COVID-19. Este informe incluye la representación visual de los casos de contagio, muerte e inmunes. Además, se incluye la interpretación de cada una de las representaciones mencionadas anteriormente y lo que estás significan en el marco de la toma de decisiones para estrategias de mitigación. Adicionalmente, el informe incluye una muestra del código usado para hacer este análisis. * Se realizaron dos informes que incluyen la verificación, calibración, validación, y experimentación sobre los modelos ABMS (geoespacial y alto rendimiento) teniendo en cuenta la aplicación de políticas de cuarentena total y pico y cédula. En particular, los procesos de calibración y validación se realizaron teniendo en cuenta los resultados del estudio de seroprevalencia del INS sobre la ciudad de Medellín a corte de octubre, 2020. | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 2:** | Desarrollar un modelo de simulación en dinámica de sistemas para estudiar el efecto de políticas encaminadas a mitigar la propagación de COVID-19 en las dinámicas socioeconómicas en zonas urbanas. | | **% de cumplimiento:** 100% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** |
| Revisión de literatura | Análisis de modelos encontrados para cada sub-sistema | Ver Anexo C1 que contiene:  Revisión de literatura |  |
| Delimitación de sub-sistemas | Listado de variables | Ver Anexo C2 y C2a que contiene: Hipótesis dinámica y análisis de variables. |  |
| Hipótesis dinámica | Diagramas causales | Ver Anexo C3 que contiene:  Resultados de diagramas causales  Ver visita guiada y explicaciones de los diagramas causales en:  <https://covid19.dis.eafit.edu.co/efectos/>. | Producto validado en diferentes reuniones y talleres de discusión con expertos. |
| Modelo computacional en Stella Architect con escenario que no considera medidas de mitigación. | Diagramas de flujos y niveles.  Explicación de ecuaciones del modelo  Archivos de simulación. | Ver Anexo C4 que contiene:  Explicación de diagramas y ecuaciones del modelo  Ver Anexo C5 que contiene ecuaciones en Stella Architect. | Toda la estructura del modelo se encuentra validada.  El modelo para Medellín y Barranquilla se encuentran calibrados. |
| Informe con análisis de resultados de pruebas de validación realizadas. | Descripción de pruebas realizadas.  Resultados de simulación de modelo validado para una ciudad. | Ver Anexo C6 que contiene:  Descripción y análisis de pruebas de validación | El objetivo de los modelos en dinámica de sistemas es el entendimiento de los sistemas, en lugar de predicción o pronóstico, por lo que en este módulo el foco es validar la estructura del modelo de forma detallada y el comportamiento de forma cualitativa. |
| Informe con propuesta de diferentes políticas para mitigar efectos de COVID-19  en capacidad hospitalaria y variables socioeconómicas en una región urbana, y  análisis de resultados de simulaciones de dichas políticas. | Descripción de políticas simuladas, gráficas con resultados de las simulaciones obtenidas y análisis de las mismas. | Ver Anexo C7 que contiene:  Simulación de Escenarios para Medellín | Análisis de escenario base para una región urbana (Medellín) y comparación con diferentes políticas simuladas. |
| Informe con recomendaciones sobre medidas que deben tomarse para mitigar los impactos mencionados. | Resumen de recomendaciones obtenidas a partir de las simulaciones de políticas | Ver Anexo C8 que contiene:  Recomendaciones para una política integral en Medellín |  |
| Modulo en la Plataforma Web con el modelo desarrollado, que permita que el usuario simule y pruebe diferentes políticas. | Avances en modelo web para caso genérico y para Medellín | Ver Anexo C9 que contiene:  Guía de usuario para plataforma web  Ver <https://epidemiologia-matematica.org/efectos/> | Adicional al anexo, en la página se encuentra una breve explicación de las funcionalidades del simulador.  <https://epidemiologia-matematica.org/efectos/#/Instrucciones> |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 3:** | Construir un modelo matemático para pronosticar el número de casos de contagios del COVID-19 a corto y mediano plazo usando funciones exponenciales q-deformadas y aprendizaje estadístico. | | | **% de cumplimiento:** | 100% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** | |
| Reducción del tiempo de computo para cada corrida en cada región de hasta un 90%. | |  | Anexo D9: Códigos en Python en formato pdf. | Se realizaron nuevos experimentos numéricos para pronóstico y validación de resultados de hasta 10 días adelante con errores relativos inferiores al 10% disminuyendo el tiempo de computo; este procedimiento incluye el modelo q-exponencial para pronósticos de hasta 10 días adelante en etapa de crecimiento de los contagios, recuperados y fallecimientos diarios reportados.  Así mismo, se reconfiguró el modelo q-exponencial de ventanas móviles para pronósticos de hasta 5 días adelante con errores relativos inferiores al 5%  en etapa de aplanamiento de los contagios, recuperados y fallecimientos diarios reportados. | |
| Integración del Módulo en la Plataforma Web con el modelo Covid19-Pronóstico que permita que el usuario observe el pronóstico de mediano plazo (5-7) días de la curva epidémica. | | Se hizo la integración a la plataforma MATHCOVID con el nuevo algoritmo optimizado, donde se incluyeron departamentos y ciudades principales para el pronóstico de casos confirmados, fallecidos y recuperados | [https://epidemiologia-matematica.org/pronosticos/](https://doi.org/10.1101/2020.02.21.20026070) | En la nueva versión del algoritmo se obtuvieron tiempos de computo muy inferiores a la segunda versión, lo que permitió incorporar las nuevas regiones sin colapsar el módulo de pronósticos. | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 4:** | Analizar el comportamiento del COVID-19 utilizando técnicas de Inteligencia Artificial y datos epidemiológicos para ayudar en los procesos de toma decisiones de las autoridades competentes | **% de cumplimiento:** | 100% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** |
| Versión final del diccionario de datos que se tienen del COVID-19 para Colombia y otras fuentes de datos | Diccionario de datos | Anexo A1 - Diccionario de datos | Se tiene la versión final del diccionario de datos con variables para todos los modelos. |
| Conjuntos de datos después de haber sido procesados. | Conjuntos de datos procesados para predicción | Anexo A2 - Datos para el modelo de predicción de riesgo de muerte.  Anexo A11 – Datos para la predicción de las variables del modelo de SEIRD con machine learning | Se tienen los datos procesados para los modelos de predicción |
| Conjuntos de datos después de haber sido procesados. | Conjuntos de datos procesados para modelos de sentimientos y opinión, y para el mapa de vulnerabilidad | Anexo A3 - Datos para el mapa de vulnerabilidad   Anexo A4 - Datos de Twitter para monitoreo de emociones | Se tienen los datos procesados de Twitter para monitoreo de emociones, y los datos socioeconómicos para el mapa de vulnerabilidad |
| Modelos, parámetros e hiperparámetros. | Modelos, parámetros e hiperparámetros de predicción | Anexo A5 - Un cuaderno Jupyter con el modelo de predicción de riesgo de muerte.  Anexo A12 – Un cuaderno Jupyter con el modelo de SEIRD con machine learning | Se tienen dos modelos de predicción: predicción de riesgo de mortalidad, de las variables del modelo SEIRD. |
| Modelos, parámetros e hiperparámetros. | Modelos, parámetros e hiperparámetros de modelos de sentimientos y opinión | Anexo A6 - Un cuaderno Jupyter con el modelo de monitoreo de emociones.  Anexo A7 - Un cuaderno Jupyter con el modelo de mapa de vulnerabilidad | Se tienen dos modelos de sentimientos y opinión, y un mapa de vulnerabilidad del Covid-19 en los departamentos de Colombia |
| Evaluación de los modelos, con sus parámetros e hiperparámetros. | Evaluación de los modelos de predicción | Anexo A8 - Un reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de predicción de riesgo de muerte  Anexo A13a – Evaluación cuantitativa del modelo de SEIRD con machine learning | Se tiene la evaluación cuantitativa de los dos modelos de pronóstico |
| Evaluación de los modelos, con sus parámetros e hiperparámetros. | Evaluación de los modelos de sentimientos y opinión | Anexo A9 - Un reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de monitoreo de emociones.   Anexo A10 - Un reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de mapa de vulnerabilidad | Se tiene la evaluación cuantitativa de los dos modelos de sentimientos y opinión, y del mapa de vulnerabilidad del Covid-19 |
| Módulo de inteligencia artificial en la plataforma web. | Los Modelos de predicción están desplegados en la plataforma web | El modelo de predicción de riesgo se encuentra en la plataforma web:  <https://epidemiologia-matematica.org/calculadora/>  El modelo de monitoreo de emociones se encuentra en la plataforma web:  [https://covid19.dis.eafit.edu.co/IA/](https://covid19.dis.eafit.edu.co/IA/#/Pronosticos)  El modelo de mapa de vulnerabilidad se encuentra en la plataforma web: <https://covid19.dis.eafit.edu.co/IA/#/Mapa>  El modelo de SEIRD con machine learning se encuentra en la plataforma web:  <https://covid19.dis.eafit.edu.co/IA/#/Pronosticos> | Se tienen los modelos de predicción, el mapa de vulnerabilidad, y los modelos de análisis de sentimiento, desplegados en la plataforma web. |
| Divulgación de resultados | Un artículo científico con los modelos de sentimientos y opinión fueron enviados a la conferencia de inteligencia artificial NIPS 2020.  Un primer artículo científico que describe el mapa de vulnerabilidad fue enviado a la conferencia de inteligencia artificial NIPS 2020, y una versión extendida a la revista *Artificial Intelligence in Medicine,* Elsevier (actualmente está en revisión).  Un artículo científico que describe los modelos predictivos de las variables SEIRD usando técnicas de aprendizaje automático fue enviando a la revista *Artificial Intelligence Review, S*pringer (actualmente está en revisión). | Anexo A9 - Además de ser evaluación cuantitativa, también es un artículo que fue enviado a un workshop de la conferencia NIPS 2020 sobre monitoreo de emociones.   Anexo A10 - Además de ser evaluación cuantitativa, también es un artículo que fue enviado a un workshop de la conferencia NIPS 2020 sobre mapa de vulnerabilidad  Anexo A13a - Además de ser evaluación cuantitativa, también es un artículo del modelo SEIRD  Anexo A14a - Artículo del modelo del mapa de vulnerabilidad  Anexo A13b - Notificación de recibido del artículo del modelo SEIRD  Anexo A14b - Notificación de recibido del artículo de MAPA | Dos artículos terminados que fueron enviados a un workshop de una conferencia internacional  Y  2 artículos |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 5:** | Desarrollar una plataforma web que integre los diferentes módulos y la información mediante un software que trabaje desde la nube. El acceso a la plataforma será público para la mayoría de los módulos y tendrá acceso restringido para los investigadores y el personal encargado por parte del Instituto Nacional de Salud (INS). | | | **% de cumplimiento:** | 75% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** | |
| Despliegue del repositorio de fuentes de datos disponibles para los investigadores involucrados en este proyecto | | * [Repositorio de datos](https://epidemiologia-matematica.org/calculadora/) |  | Usuario: datos  Contraseña: H7YACucVvUq= | |
| Encuesta para casos potenciales | | * [Módulo de encuesta para potenciales](https://epidemiologia-matematica.org/encuesta/) |  |  | |
| Módulos para la visualización geoespacial | | * [Módulo de riesgo por municipio](https://epidemiologia-matematica.org/mapa/riesgo/municipios) * [Módulo de riesgo por departamento](https://github.com/juanscr/covid-abms/tree/dev-jame) * [Módulo de mapas de calor](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(97)00165-9) |  |  | |
| Calculadora de mortalidad | | * [Calculadora de mortalidad](https://doi.org/10.1007/s12190-020-01354-3) |  |  | |
| Módulos para la evaluación de políticas | | * [Módulo de sistemas dinámicos para la evaluación de políticas](https://epidemiologia-matematica.org/politicas/) * [Módulo de sistemas dinámicos para la evaluación de políticas en cosechas](https://epidemiologia-matematica.org/politicas/cosechas) |  | Usuario: decisor  Contraseña: politicas | |
| Módulo para pronósticos de casos acumulados | | * [Módulo de pronósticos](https://epidemiologia-matematica.org/mapa/riesgo/departamentos) |  |  | |
| Módulo de pruebas para pronósticos de casos diarios | | * [(pruebas) Módulo de pronósticos](https://doi.org/10.21037/jtd.2020.02.64#/diarios) |  |  | |
| Módulo de pruebas para la evaluación de efectos colaterales | | * [(pruebas) Módulo de dinámica de sistemas para la evaluación de efectos colaterales](https://doi.org/10.2807/1560-7917.es.2020.25.10.2000180) |  |  | |
| Sección de divulgación de resultados a través de Noticias | | * [Sección de Noticias](http://arxiv.org/abs/2003.00122) |  |  | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **OBJETIVO ESPECÍFICO 6:** | Construir un modelo matemático basado en sistemas de ecuaciones diferenciales discretas con retardo que modele la transmisión del COVID-19 de manera que se pueda evaluar a partir de casos epidémicos el efecto de diferentes acciones de control como cuarentena, aislamiento, esfuerzo de detección de infectados o limpieza de superficies. | | | **% de cumplimiento:** | 85% |
| **RESULTADO OBTENIDO** | | **PRODUCTO**  (si aplica) | **ANEXO SOPORTE DEL DESARROLLO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS** | **OBSERVACIONES** | |
| Documento con el diseño general  del modelo basado en sistemas  de ecuaciones diferenciales con  la definición de cada uno de los  parámetros que intervienen en él. | | Documento en el que se presenta la explicación matemática y biológica del modelo de transmisión del Covid-19 | Ver anexo E1 |  | |
| Documento que contiene una lista de las actualizaciones que se hacen sobre el modelo de cada uno de elementos que intervienen en él. | | Documento en el que se enumeran los cambios importantes que se tuvieron en cuenta sobre el planteamiento del modelo original | Ver anexo E2 |  | |
| Documento con el algoritmo a ser implementado en el módulo web de sistemas dinámicos. | | Documento donde se presenta el algoritmo de estimación de parámetros y su automatización validada. | Ver anexo E3 | El documento plantea el algoritmo utilizado para la estimación y validación de manera automática de las localidades de interés, el cual puede ser aplicado a cualquier zona de estudio.  Los resultados obtenidos a partir de implementar dicho algoritmo se encuentran disponibles en la página web en la sección de “EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS MEDIDAS DE CONTENCIÓN”    <https://epidemiologia-matematica.org/politicas/>    usuario: decisor  contraseña: politicas | |
| Documento descriptivo con la  metodología de la estimación de  parámetros junto a sus intervalos de  confianza, que explique el algoritmo  implementado y la automatización  de dicho proceso para  implementarse en el módulo web. | | Documento en el que se describe la metodología seguida para la estimación de parámetros e intervalos de confianza del modelo | Ver anexo E4 | El documento presenta la metodología utilizada para realizar la estimación de parámetros realizada en el algoritmo de automatización del anexo E3 | |
| Documento argumentando  cuáles son las estrategias de  control que tienen mayor  influencia dentro del  aplanamiento de la curva  epidemiológica, basado en el  análisis de sensibilidad e  incertidumbre del modelo de  transmisión de covid19 para  Colombia | | Documento explicativo que presenta un ranking de importancia de algunas estrategias de control | Ver anexo E5 | Se realizó un análisis de sensibilidad utilizando Matlab para obtener un ranking de los parámetros más significativos del modelo, los cuales están relacionados con diferentes estrategias de control de la enfermedad | |
| Entrega de las simulaciones y los  respectivos algoritmos para simular  diferentes escenarios de control a  través de la variación de parámetros  claves del modelo de forma tal que  puedan adicionarse al módulo. | | Documento que resume simulaciones realizadas para diferentes localidades del país. | Ver anexo E6 y E3 | Se entregan simulaciones de pronósticos de algunas localidades como Colombia, Antioquia, Valle de Aburrá, Bogotá, Cali y Pereira. Teniendo en cuenta procesos de control como constancia en la cuarentena y levantando la cuarentena. Asimismo, las simulaciones con diferentes estrategias de control se pueden observar y realizar en la página web en la sección de “EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS MEDIDAS DE CONTENCIÓN”    <https://epidemiologia-matematica.org/politicas/>  usuario: decisor  contraseña: politicas | |
| Exportación del modelo de transmisión de Covid19 de Matlab a Python | | Modelo matemático de transmisión del covid19 funcional en ambos lenguajes: Matlab y Python, con el fin de poder realizar la automatización del anexo E3 | Presente en un repositorio en github [https://github.com/CamiVasz/covid-cosechas](https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0026) |  | |

# DESCRIPCIÓN DE OTROS RESULTADOS OBTENIDOS

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **OTROS RESULTADOS** | **INDICADOR DE CUMPLIMIENTO** | **DESCRIPCIÓN DEL RESULTADO OBTENIDO** | **ANEXO SOPORTE** |
| Avance del segundo artículo en al menos un 80% | Se continua la escritura de un segundo artículo en inglés para ser sometido a revista internacional indexada. | Anexo D10: Artículo Internacional 2 - Versión preliminar. | El objetivo es someter el segundo artículo en una revista internacional indexada una vez terminada su redacción. |

## RESULTADOS ADICIONALES

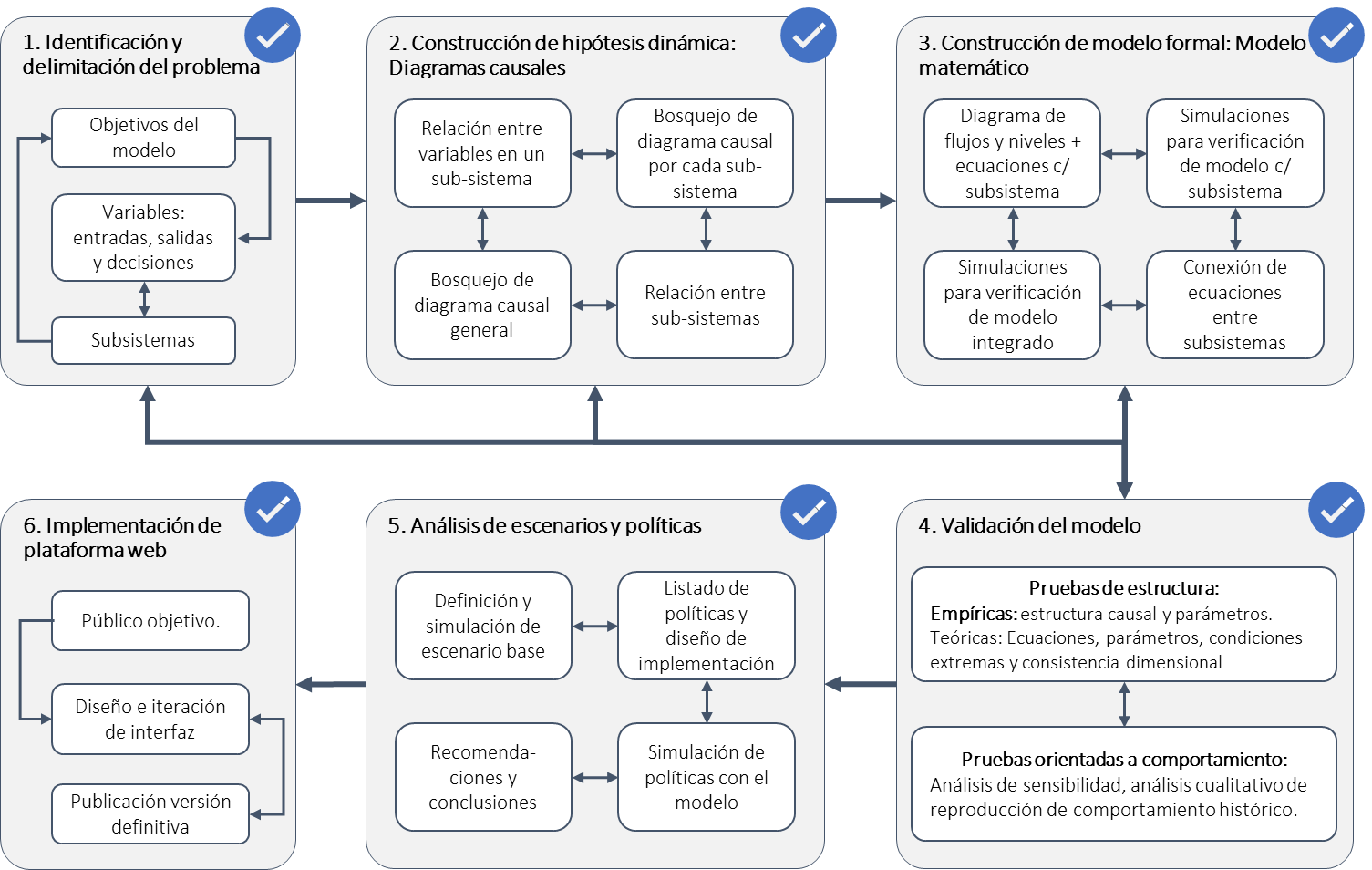
|  |  |
| --- | --- |
| **DESCRIPCIÓN DEL RESULTADO ADICIONAL** | **ANEXO SOPORTE** |
| Del módulo de la plataforma (EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS MEDIDAS DE CONTENCIÓN) en el que subyace este modelo, se derivó el módulo de cosechas, con el cuál se hace seguimiento a la curva epidémica del agregado de los municipios del Plan cosecha cafetera del suroeste antioqueño, teniendo presente el impacto de la migración de campesinos de todo el país a esta región. | https://epidemiologia-matematica.org/politicas/cosechas  usuario: decisor  contraseña: politicas |
| Para acompañar el módulo de cosechas se desarrolló otra plataforma que permitiera el registro de los recolectores, los vigías de salud, los caficultores y otra población involucrada en la cosecha, con dos objetivos: 1. Orientar a los campesinos a los puestos de trabajo sin tener que movilizarse de un lugar a otro buscando plazas. 2. Hacer prevención y atención en salud mediante las encuestas epidemiológicas realizadas por los vigías de salud. | [https://www.cosecha-segura.org/](https://covid19.dis.eafit.edu.co/calculadora/) |
| Acompañamiento del plan cosecha cafetera del suroeste antioqueño que hace parte de la propuesta entre EAFIT y la gobernación de Antioquia: ***Unidad de análisis para el desarrollo y la productividad de Antioquia - Antioquia Analítica”.*** | Plan cosecha Gobernación de Antioquia- Anexo E7 |
| Se hizo un convenio con la CIB (Corporación de Investigaciones Biológicas) a partir de la interacción de la sala de trabajo del evento del Mincienciaton en el mes de junio con el profesor Enrique Leon. Con ellos se quiere articular todo nuestro trabajo y experiencia en modelación matemática y análisis de la información con la investigación de la CIB en enfermedades infecciosas y crónica, así como también sus trabajos de investigación en el tratamiento y mejoramiento de productos agrícolas.  Este convenio se ha hecho bajo la premisa de los investigadores que quieren, además de generar conocimiento, hacer transferencia de conocimiento de tal forma que Colombia tenga un impacto directo de la investigación que se realice. | Convenio entre EAFIT y la CIB- Anexo E8 |

# CUMPLIMIENTO DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta se ha cumplido rigurosamente como se propuso en el proyecto.

**Objetivo 1:** Para este objetivo se plantea el desarrollo de un modelo de simulación basada en agentes que modela la dinámica de la propagación del virus a un entorno urbano virtual. Desarrollar y utilizar un modelo de simulación es un proceso iterativo que generalmente involucra tres pasos principales: Estructuración del problema, Modelación, e Implementación (Pidd, 2009). Específicamente, para la construcción de modelos basados en agentes, Salamon (2011) propone una metodología basada en cuatro fases, como se muestra en la figura de abajo. A la fecha, el equipo ha completado las cuatro fases tanto para el modelo geoespacial como para el modelo de computación de alto rendimiento.

**Objetivo 2**: Para este objetivo se sigue la metodología iterativa de desarrollo de modelos en dinámica de sistemas (Sterman, 2000), que consiste en las 5 primeras etapas de la figura. Adicionalmente, se realizó una metodología iterativa para el desarrollo web. A la fecha, todas las etapas están concluidas al 100%.



**Objetivo 3**: Se propuso una variante del modelo temporal univariante de tipo exponencial q-deformado de tres parámetros. Para realizar los pronósticos diarios de los contagios, recuperados y fallecidos de corto plazo se estableció la siguiente metodología:

1. Estimar los 3 parámetros del modelo usando ventanas móviles sobre los datos históricos de las curvas de contagios, recuperados y fallecidos reportados para cada día, mediante un esquema de optimización basado en la minimización del error cuadrático medio.

2. Hacer la primera estimación para el día siguiente con los parámetros encontrados.

3. Definir el tamaño de la ventana móvil optima que permite el mejor pronóstico

4. Recalibrar el parámetro de contracción del modelo para hacer el pronóstico del día siguiente

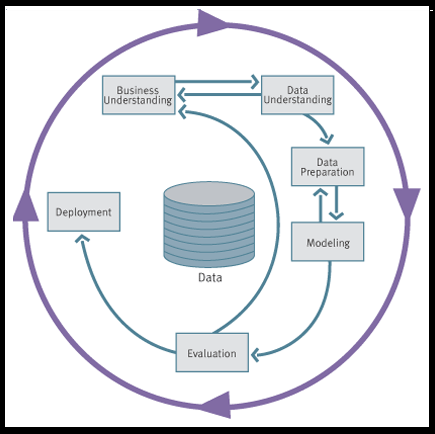
5. Construir el intervalo de confianza y la banda de pronóstico.

Con esta metodología se tiene la primera versión modificada del modelo y se ha seguido estrictamente.

**Objetivo 4**: Inteligencia artificial

Se propuso la metodología *Cross-industry standard process for data mining* (CRISP-DM) propuesta por Wirth, R. (2000), que se utiliza en proyectos de minería de datos y de aprendizaje automático. La misma fue adecuada para su uso en los cuatro subproyectos desarrollados en este objetivo, desde la fase de análisis del problema hasta la de generación de los modelos definidos para cada uno. Los pasos que definen esta metodología adecuados a nuestros subproyectos, se describen a continuación:

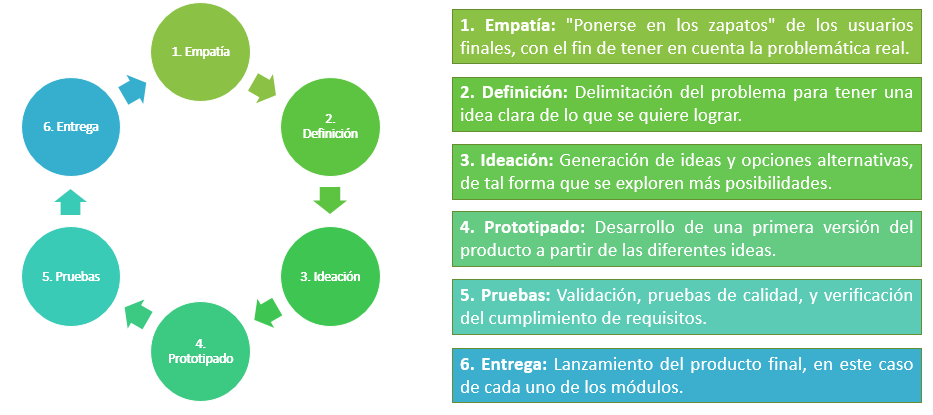
1. Entendimiento del problema: es donde se hace un análisis del problema a estudiar, se entiende su contexto, entre otras cosas. En nuestro caso, para cada sub-proyecto se define:
   1. **Descripción del problema:** se caracteriza de manera clara, para cada subproyecto, el problema que se quiere estudiar, así como su contexto. Esto permite comprender el problema desde una perspectiva de su contexto real.
   2. **Objetivos:**  qué metas queremos alcanzar en cada subproyecto, y de esta manera, qué resultados debemos entregar.
   3. **Criterio de éxito de cada subproyecto:**  En esta parte se determina las condiciones de éxito de cada subproyecto, que permitan impactar de manera positiva el problema bajo estudio. Se definen tanto criterios funcionales (diagnosticar, predecir, etc.) como no funcionales (de calidad, usabilidad, etc.)
2. Entendimiento de los datos: esta fase tiene como objetivo la búsqueda y entendimiento de los datos requeridos en cada uno de los subproyectos. Para ello, en cada subproyecto se realizó:
   1. **Diccionario de datos:** El mismo describe las fuentes de datos para cada subproyecto (Google, sitios oficiales de instituciones públicas, entre otros), con las características de las variables que los componen (tipos, etc.), así como la frecuencia de actualización de los mismos. Implícitamente, hay un proceso de comprensión de los datos extraídos, para entender cómo manejarlos apropiadamente, de tal forma de integrarlos para su futuro procesamiento.
3. Preparación de los datos: esta fase prepara los datos para su posterior uso, utilizando técnicas de ingeniería de datos e Ingeniería de características. Para cada subproyecto se han realizado los siguientes pasos:
   1. **Preprocesamiento:** En esta parte se preparan los datos extraídos de sus fuentes, realizando tareas de limpieza, transformación, eliminación de ruidos en los mismos, entre otras cosas.
   2. **Integración:** En esta parte se combinan los datos de las distintas fuentes para crear un nuevo repositorio de datos.
   3. **Ingeniería de Características**: a partir de los objetivos de cada subproyecto, se realiza un proceso de análisis de los datos para determinar si hay que extraer/generar más datos, si hay que fusionar algunos, para finalmente, realizar un proceso de selección en función de las variables objetivos implícitas en cada subproyecto y las relaciones de dependencias entre las variables.
4. Modelación: esta fase tiene como finalidad el desarrollo de los modelos que permitan resolver el problema identificado en el primer punto, usando para ellos las técnicas de inteligencia artificial adecuadas. Para cada subproyecto, se realizaron los siguientes pasos:
   1. **Selección de técnica de modelado:** En esta parte se selecciona una o varias técnicas de inteligencia artificial (aprendizaje automático, minería de texto, etc.) que permitan construir los modelos de conocimiento que responden a los objetivos de cada subproyecto.
   2. **Preparar el proceso de desarrollo de los modelos:** Antes de construir un modelo, es necesario definir las muestras de datos que se usaran para la construcción de estos. Además, se define el procedimiento para probar la calidad y validez del modelo.
   3. **Construir el modelo:**
      1. **Ajustar de parámetros:** Cualquier técnica de modelación tiene muchos parámetros que deben de ser ajustados. En esta fase se listan los parámetros, y se define una estrategia para determinar sus valores adecuados.
      2. **Modelar:** Con el insumo de las fases anteriores, se empiezan a desarrollar los modelos utilizando las técnicas de inteligencia artificial respectivas.
   4. **Evaluación preliminar del modelo:**  Para los casos donde hay un proceso inicial de aprendizaje (típico en los casos de aprendizaje supervisado), se realiza una validación del modelo construido de acuerdo con unas métricas de calidad definidas.
5. Evaluación de los modelos: una vez los modelos construidos, los mismos son probados en diferentes contextos, y comparados con otros modelos basados en otras técnicas. Para cada subproyecto se realizó:
   1. **Evaluar los resultados:** En este nuevo paso se evalúa el modelo en diferentes contextos del problema, para determinar si cumple con los objetivos definidos al inicio del subproyecto. Para ello, se requieren definir las métricas de calidad adecuadas para el problema bajo estudio.
   2. **Comparar los resultados:** Esta fase también implica comparar los resultados obtenidos con los diferentes modelos desarrollados con las diferentes técnicas consideradas, para escoger los modelos más apropiados.
6. Despliegue de los modelos. En cada subproyecto se realizó:
   1. **Planear el despliegue:**  En esta parte se tomarán en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación y se determinará una estrategia para el despliegue de los resultados. A partir de alli, se elabora el entorno de despliegue de los modelos
   2. **Planear el monitoreo y mantenimiento:** El monitoreo y mantenimiento son importantes para la actualización de los modelos. La preparación cuidadosa de una estrategia de mantenimiento ayuda a mantener actualizado los modelos, y a evitar inadecuadas actualizaciones de los datos.



En esta área estamos desarrollamos cuatro subproyectos. El primero es un modelo predictivo de riesgo de muerte a causa de Covid-19 utilizando LightGBM propuesto por Ke. Guolin et al. (2017); este subproyecto está terminado y se encuentra ya en la plataforma web (fase 6, terminada). El segundo es un mapa de vulnerabilidad de Covid-19; este subproyecto está terminado y se encuentra ya en la plataforma web (fase 6, terminada). El tercero es un modelo para monitorear las emociones de la población sobre Covid-19, utilizando Twitter; este subproyecto se encuentra terminado y en la plataforma web (fase 6, terminada). El cuarto, es un modelo de SEIRD; este subproyecto se encuentra terminado y disponible en la plataforma web (fase 6, terminada).

**Objetivo 5:** Plataforma web

Para el desarrollo del objetivo 5 se propuso la metodología Design Thinking aplicada a cada módulo, de tal manera que la integración de los avances en la plataforma se haga en paralelo con los avances y resultados que obtiene cada equipo. De acuerdo a lo anterior, para cada módulo se tiene lo siguiente en lo referente a la integración con la plataforma web:



|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Módulo:** | **Simulación basada en agentes** | **Dinámica de sistemas** | **Pronósticos** | **Inteligencia Artificial** | **Sistemas dinámicos** | **Formulario y Mapas** |
| **Etapa:** | Definición | Definición | Prototipado | Ideación | Prototipado | Pruebas |

**Objetivo 6**:

Tras desarrollar una primera versión del modelo discreto de transmisión del Covid-19, realizamos diferentes actualizaciones y ajustes del mismo con el fin de mejorar su ajuste a la dinámica de transmisión de la enfermedad, esto se desarrolló siguiendo la visión del modelado en epidemiología, la cual consiste en obtener una representación matemática simplificada de las características clave de los patrones de contacto a través de los cuales ocurre la transmisión, así como la historia natural de la infección y los factores sociales que pueden afectar la transmisión de la enfermedad.

Para el presente modelo se tuvieron en cuenta características como: cuarentena de la población, capacidad de detección de infectados, tasa de remoción del virus del ambiente, conectividad en la población, presencia de personas expuestas y asintomáticas en la población, migración, entre otras. Dichas características son representadas por uno o varios parámetros, donde algunas de ellas pueden ser variadas a disposición del usuario para estudiar diferentes escenarios de control de la enfermedad, por ejemplo, se pueden aumentar o disminuir las tasas de detección de sintomáticos o asintomáticos, variar el nivel de cultura ciudadana frente a la enfermedad, aumentar o disminuir los niveles de remoción del virus en el ambiente, como también la fecha de inicio y finalización de una política, entre muchas otras.

Asimismo, el modelo se programó de tal manera que fuera posible variar sus parámetros a lo largo del tiempo (parámetros representados como series de tiempo). Esto permite simular diferentes escenarios epidémicos, por ejemplo, ausencia de cuarentenas, simular la cuarentena intermitente al variar en diferentes valores los parámetros de entrada y salida de cuarentena, también es posible realizar una simulación de procesos migratorios, donde se ingresan determinado número de personas expuestas e infectadas en diferentes instantes del tiempo.

Para la validación de las curvas nominales, o parámetros nominales para cada zona de estudio, se utilizaron los datos poblacionales de cada zona del país y los intervalos de los parámetros de la enfermedad se validaron con los datos de China. Bajo estos supuestos se fijan algunos parámetros de la enfermedad (probabilidades de infección y recuperación) en los valores presentados en la estimación y validación de parámetros de China. Posteriormente, para realizar la estimación de todos parámetros de cada zona de estudio, se desarrolló un algoritmo de validación automática que utiliza los principios de incertidumbre e identificabilidad de parámetros en sistemas implementados en Matlab y Python, utilizando computación de alto rendimiento (con el computador APOLO de la universidad Eafit). Dicho algoritmo se presenta con mayor detalle en el anexo E3 y presenta una serie de ciclos de estimación de parámetros, selección de criterios de identificabilidad, fijar parámetros de manera automática y evaluar que la incertidumbre producida por los intervalos de los parámetros sea consistente con unos valores de incertidumbre preexistentes.

# CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN A LA FECHA, DIFICULTADES Y PLAN DE CONTINGENCIA

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ACTIVIDADES** | **OBJETIVO RELACIONADO** | **FECHA DE EJECUCIÓN** | **CAMBIOS SOLICITADOS Y APROBADOS POR MINCIENCIAS**  **(si aplica)** | **PLAN DE CONTINGENCIA**  **(si aplica)** |
| Caracterización del problema y desarrollo del modelo conceptual | Objetivo 1 | Del 8 de mayo al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Implementación computacional del modelo basado en agentes | Objetivo 1 | Del 8 de mayo al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Verificación, validación del modelo, experimentación y análisis de escenarios | Objetivo 1 | 8 de julio al 8 de octubre | No aplica | No aplica |
| Conclusiones, recomendaciones y propuesta de estrategias para aplanar la curva epidémica | Objetivo 1 | 8 de septiembre al 8 de diciembre | No aplica | No aplica |
| |  | | --- | | Integración a la plataforma Web | | Objetivo 1 | 8 de septiembre al 8 de noviembre | No aplica | No aplica |
| Identificar las variables que intervienen en el sistema y clasificarlas en sub-sistemas. | Objetivo 2 | 8 de mayo al 8 de junio | No aplica | No aplica |
| Construir un modelo conceptual que represente los sub-sistemas y sus interacciones. | Objetivo 2 | 8 de mayo al la 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Construir un modelo matemático con dinámica de sistemas e implementarlo en software de simulación. | Objetivo 2 | 8 de mayo al 8 de septiembre | No aplica | No aplica |
| Realizar validación del modelo matemático. | Objetivo 2 | 8 de julio al 8 de septiembre | No aplica | No aplica |
| Evaluar el efecto de diferentes políticas de mitigación de COVID-19 a través del modelo de simulación. | Objetivo 2 | 8 de septiembre al 8 de diciembre | No aplica | No aplica |
| Realizar recomendaciones sobre estrategias para mitigar los impactos socioeconómicos de COVID-19 en una región urbana. | Objetivo 2 | 8 de diciembre al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| Desarrollar una plataforma virtual para el módulo de dinámica de sistemas. | Objetivo 2 | 8 de septiembre al 8 de diciembre | No aplica | No aplica |
| Escritura de informe de resultados | Objetivo 2 | 8 de noviembre al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| Construcción de un modelo q-deformado dinámico para simular el número de contagiados de COVID-19 por unidad de tiempo | Objetivo 3 | 8 de mayo al 8 de agosto | No aplica | No aplica |
| Estimación de los Coeficientes Funcionales del Modelo q-deformado | Objetivo 3 | 8 de junio al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Simulación del Modelo q-deformado | Objetivo 3 | 8 de junio al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Pronóstico del número de contagiados usando el Modelo q-deformado y algoritmos de aprendizaje estadístico | Objetivo 3 | 8 de junio al 8 de octubre | No aplica | No aplica |
| Estimación de las condiciones numéricas bajo las cuales el Modelo q-deformado llega al punto máximo y las curvas se aplanan | Objetivo 3 | 8 de octubre al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| Comprensión de la problemática de COVID-19 y las necesidades de tomas de decisiones de las autoridades competentes | Objetivo 4 | 8 de mayo al 8 de junio | No aplica | No aplica |
| Comprensión de los datos que se tienen del COVID-19 en Colombia y otras fuentes de datos | Objetivo 4 | 8 de junio al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Preparación de los datos para poder construir modelos que permitan analizar la enfermedad | Objetivo 4 | 8 de junio al 8 de julio y del 8 de septiembre al 8 de octubre | No aplica | No aplica |
| Construcción de diferentes modelos de Inteligencia Artificial para apoyar la toma de decisiones | Objetivo 4 | 8 de julio al 8 de agosto y del 8 de octubre al 8 de noviembre | No aplica | No aplica |
| Evaluación de los modelos con respecto a las necesidades de las autoridades competentes | Objetivo 4 | 8 de julio al 8 de agosto y del 8 de octubre al 8 de noviembre | No aplica | No aplica |
| Implantación de los modelos de Inteligencia Artificial para la toma de decisiones en la plataforma web | Objetivo 4 | 8 de agosto al 8 de septiembre y del 8 de noviembre al 8 de diciembre | No aplica | No aplica |
| Divulgación de resultados | Objetivo 4 | 8 de julio al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| Desarrollar un formulario público para detectar casos potenciales a través de una encuesta sobre la información personal, de contacto, de salud y de ubicación del usuario. La información recolectada será para uso anónimo de los módulos que lo requieran y para uso completo del INS, donde este último tendrá la opción de actualizar los datos de los casos confirmados. | Objetivo 5 | 8 de mayo al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Desarrollar mapas de visualización en tiempo real para el riesgo en polígonos por municipio y departamento. El riesgo puntual para casos potenciales y confirmados estará limitado a través de un mapa de calor en la versión pública de la plataforma web, con el fin de evitar posibles ataques a los individuos o daños a la vivienda. | Objetivo 5 | 8 de junio al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Integrar los diferentes módulos en la plataforma para garantizar su acceso público. | Objetivo 5 | 8 de junio al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| |  | | --- | | Divulgación de resultados | | Objetivo 5 | 8 de diciembre al 8 de enero | No aplica | No aplica |
| A partir de la visión de modelado epidemiológico, adaptar o plantear un modelo matemático a partir de | Objetivo 6 | 8 de mayo al 8 de junio | No aplica | No aplica |
| modelos propuestos inicialmente para el covid-19 en 2020 y en enfermedades similares, como el brote de SARS presentado en el 2002 | Objetivo 6 | 8 de mayo al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Revisión de literatura para actualizar constantemente la información sobre la dinámica de transmisión de la enfermedad | Objetivo 6 | 8 de mayo al 8 de julio | No aplica | No aplica |
| Obtener y actualizar la base de datos que alimentaran el modelo matemático | Objetivo 6 | 8 de junio al 8 de agosto | No aplica | No aplica |
| Estimar parámetros del modelo de transmisión, junto a sus respectivos intervalos de confianza, con el fin de identificar el valor de parámetros poblacionales y biológicos para Colombia, teniendo en cuenta la incertidumbre que se pueda presentar en los datos. | Objetivo 6 | 8 de junio al 8 de agosto | No aplica | No aplica |
| |  | | --- | | Realizar análisis de sensibilidad e Incertidumbre para la validación del modelo matemático planteado | |  | | Objetivo 6 | 8 de julio al 8 de septiembre | No aplica | No aplica |
| Simulación de escenarios y estrategias de control de la enfermedad utilizando el modelo matemático planteado | Objetivo 6 | 8 de agosto al 8 de octubre | No aplica | No aplica |
| Escritura de artículo científico para publicación en revista de libre acceso | Objetivo 6 | 8 de septiembre al 8 de enero | No aplica | No aplica |

# PROYECCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS FRENTE A LOS IMPACTOS REGISTRADOS EN EL PROYECTO/PROGRAMA (SI APLICA)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **TIPO DE IMPACTO** | **DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO** | **PROYECCIÓN DEL IMPACTO** |
| Plataforma Web para Covid-19 en Colombia | Desarrollo de una plataforma web, la cual se compone de varios módulos, a través de los cuales las personas podrán visualizar y simular escenarios de acuerdo a las políticas públicas, como la cuarentena y los protocolos de bioseguridad, para el ver impacto en la curva epidémica, la capacidad del sistema de salud, así como también el efecto en indicadores económicos como el desempleo, la productividad y el consumo. Se dejará abierta para todos aquellos con dispositivos móviles con conexión a internet. | Se espera que esta plataforma la puedan usar tanto tomadores de decisiones, autoridades nacionales, regionales y municipales, así como ciudadanos, y con ello puedan entender mejor la dinámica de la pandemia, de tal forma que puedan contribuir desde su condición al control y erradicación de la misma. |

1. **ASPECTOS FINANCIEROS**

Se adjunta informe financiero

1. **DISCUSIÓN, ANÁLISIS y CONCLUSIONES**

**Objetivo 1: Entendimiento de la propagación del virus en una ciudad**

Gestionar una pandemia es una tarea mucho más crítica y desafiante en regiones como América Latina, donde prevalece: alta inequidad social, altos índices de desocupación y empleo informal, frágiles sistemas de salud, y limitadas capacidades de investigación para el desarrollo de tratamientos. Específicamente, la contingencia del COVID-19 tomó al mundo por sorpresa. Los gobiernos alrededor del mundo fueron obligados a tomar acciones urgentes para enfrentar los retos epidemiológicos, sociales, y económicos de la reciente pandemia. Esta enfermedad se agrava ante la presencia de comorbilidades y ciertos hábitos de higiene de la población. Sin embargo, el impacto del COVID-19 no solo se refleja en las tasas de mortalidad, sino también en el efecto sobre la economía mundial y los servicios de salud que a su vez han afectado la vida de millones de personas.

Los sistemas de salud tienen una capacidad limitada para soportar una emergencia como la actual. Por tanto, existe el riesgo creciente de desbordar dichos sistemas. La propagación del virus en un entorno urbano es un sistema complejo. La dinámica de transmisión está relacionada con el comportamiento de cientos de miles de agentes heterogéneos, con diferentes rutinas y hábitos, interactuando en un entorno socioeconómico limitado por características geoespaciales.

Varios autores discutieron que las técnicas tradicionales de modelamiento de enfermedades tienen ciertas limitaciones cuando: (i) los individuos se asumen homogéneos, (ii) se ignora la heterogeneidad individual de cada individuo como la composición de su vivienda, su ubicación en el entorno, y sus patrones de movilidad social, (iii) individuos pueden reaccionar ante la epidemia, y (iv) cuando “las interacciones geoespaciales juegan un rol importante en la dinámica de la enfermedad infecciosa” (Perez & Dragicevic, 2009). Estas ideas sugieren que debe existir un enfoque para modelar sistemas epidemiológicos formados por individuos no homogéneos tomando sus propias decisiones en un contexto geoespacial, es por esto por lo que la modelación y simulación basada en agentes emergió recientemente como una herramienta significativa para enfrentar este tipo de problemas.

ABMS sigue un enfoque *bottom-up* que involucra: conceptualizar agentes individuales, definir sus características, comportamientos, habilidades sociales, objetivos, capacidad de reacción, etc., luego añadirlos a un entorno virtual, para después simular y analizar patrones a nivel global. La literatura revisada sobre el modelamiento de epidemias se enfoca particularmente en la aplicación de ABMS para simular la propagación de una enfermedad infecciosa en una población de individuos. Varios autores diseñaron, desarrollaron, probaron, y calibraron modelos basados en agentes para diferentes enfermedades. Parez Dragicevic (200) implementaron un modelo con características geoespaciales para simular una epidemia genérica en una ciudad europea. A su vez, Crooks y Hailegiourgis (2014) aplicaron la técnica para explorar a la transmisión del cólera en un campo de refugiados en Kenia, su modelo incluye: relaciones familiares y de amistad y un comportamiento orientado a objetivos. Miksch et al. (2015) simularon la epidemia de dengue de 2010 en la isla Cebú, cuyo aporte principal a la metodología de modelamiento epidemiológico a través de ABMS incluye el tratamiento de vectores como agentes infecciosos con características individuales. En general, estos estudios presentan los patrones de modelamiento de escenarios epidémicos mediante la herramienta ABMS.

Al mismo tiempo, se desarrolló una versión alterna del modelo en Repast HPC (High Performance Computing), el cual tiene características que facilitan la paralelización de la simulación. De esta forma es posible implementar una nueva versión del modelo con un millón de agentes. Se implementó la historia natural de la enfermedad considerando algunas características sobre la geografía.

Los modelos COVID-19 ABMS (geoespacial y HPC) implementados cumplen con los patrones previamente mencionados. Así mismo, éstos incorporan:

* La historia natural del virus
* Las rutinas de los ciudadanos (desplazamientos entre el hogar y el lugar de trabajo, horas de descanso)
* Los desplazamientos de los individuos basados en la matriz EOD (Encuesta Origen Destino Medellín)
* Módulo de escenarios con políticas básicas (cuarentena y pico cédula).
* Comportamiento basado en características socioeconómicas (probabilidad de cumplir las normas y el uso de tapabocas).

**Objetivo 2: Dinámica de sistemas, una visión holística para dimensionar los efectos colaterales de las decisiones en medio de la pandemia**

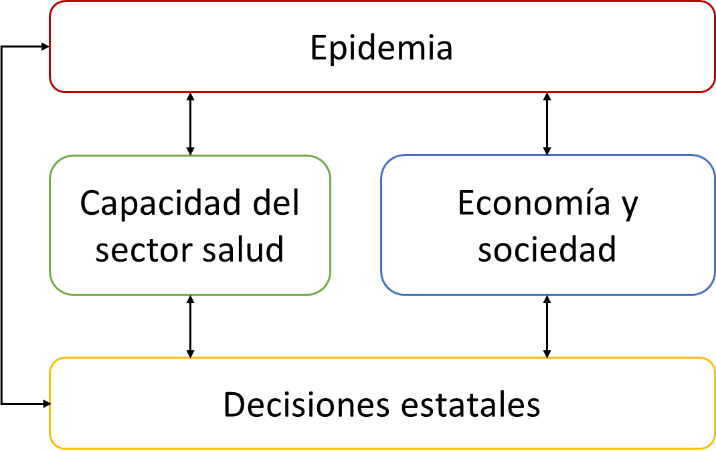
Los efectos de una pandemia sobre las dinámicas socioeconómicas en un territorio, tanto a corto como a largo plazo resultan de gran magnitud. Por lo tanto, deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar políticas integrales de contingencia para una enfermedad, las cuales, deben analizar el problema desde una perspectiva holística. No obstante, a pesar de la gran importancia de estos efectos, la dificultad de la medición de los mismos ha limitado el desarrollo de modelos en el mundo académico (Smith, Machalaba, Seifman, Feferholtz, & Karesh, 2019). Sin embargo, existen artículos que analizan estos efectos a posteriori, donde registran los impactos multisectoriales de las enfermedades, estas aproximaciones dividen los costos de las enfermedades en dos: los generados de manera directa e indirecta. Por su parte, estudios como (Yoldascan et al (2010)) y (Dorratolja et al (2017)) analizan los costos de las enfermedades mediante variables cualitativas tales como costos de vacunación, hospitalización y tratamiento. A estas, podríamos añadir para nuestro estudio, el costo por prueba. Cabe resaltar, que los estudios de impactos socioeconómicos de las pandemias se han realizado en su mayoría desde la modelación y simulación basada en agentes (ABMS) y el análisis de costos. No obstante, no se encontró un estudio que abordará el problema desde la dinámica de sistemas. Concluimos que el modelo que se desarrollará en este módulo será útil no solo para los tomadores de decisión de Colombia, sino también para la literatura científica de modelos en dinámica de sistemas.

La elección de una metodología de análisis depende directamente de los objetivos del estudio y del tipo de sistema a analizar. Las herramientas de pensamiento sistémico y ciencias de la decisión son apropiadas cuando los problemas en estudio incluyen factores como la falta de conocimiento del sistema completo, la ausencia de una solución analítica directa, la presencia de decisiones humanas, e interacciones entre sistemas de diferente naturaleza (Pidd, 1999). Estas herramientas de pensamiento están orientadas a generar discusión y aprendizaje a través del análisis de escenarios posibles. El manejo de la pandemia de COVID-19 es un fenómeno que involucra diferentes subsistemas, como el sector de la salud, la economía, la sociedad y las políticas gubernamentales. Esto hace que en dicho manejo participen múltiples agentes con objetivos, formas de actuar y decisiones diferentes. Por lo tanto, un estudio sistemático de la pandemia requiere herramientas de pensamiento, con la flexibilidad para analizar el problema desde diferentes perspectivas. En este objetivo, seleccionamos dinámica de sistemas (Morecroft, 2007; Sterman, 2000) como herramienta para analizar y modelar los efectos de la pandemia de COVID-19 en las dinámicas socioeconómicas de una región urbana en Colombia, partiendo de la articulación del problema con una visión holística, luego formulando una hipótesis dinámica (o diagramas causales) para explicar las principales complejidades del sistema, y finalmente construyendo un modelo matemático que represente dichas complejidades y permita simular políticas y escenarios futuros.

A partir de la revisión de literatura concluimos que la metodología de dinámica de sistemas se ha aplicado por al análisis de problemas del sector salud desde hace más de 50 años; dichas aplicaciones se pueden clasificar en tres categorías (Darabi & Hosseinichimeh, 2020): (i) estudios relacionados con alguna enfermedad, que van desde análisis de evolución de alguna condición médica en una persona (por ejemplo una adicción), hasta analizar comportamiento de enfermedades en comunidades o enteras (como una pandemia); (ii) estudios a nivel organizacional, como por ejemplo manejo de pacientes y/o profesionales de la salud en un centro médico; y (iii) estudios de la salud a nivel regional, enfocados a analizar políticas en los sistemas de salud en una determinada región. El modelo que estamos desarrollando en este proyecto integra elementos de los tres tipos mencionados, ya que estamos considerando evolución de los contagios de COVID-19 en una ciudad, el flujo de pacientes moderados y graves a través de la capacidad hospitalaria de la ciudad, reglas de decisión de los tomadores de decisión y los efectos de estas decisiones en variables como costos totales, desatención a otras enfermedades.

Los efectos de una pandemia sobre las dinámicas socioeconómicas en un territorio, tanto a corto como a largo plazo resultan de gran magnitud. Por lo tanto, deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar políticas integrales de contingencia para una enfermedad, las cuales, deben analizar el problema desde una perspectiva holística. No obstante, a pesar de la gran importancia de estos efectos, la dificultad de la medición de los mismos ha limitado el desarrollo de modelos en el mundo académico (Smith, Machalaba, Seifman, Feferholtz, & Karesh, 2019). Sin embargo, existen artículos que analizan estos efectos a posteriori, donde registran los impactos multisectoriales de las enfermedades, estas aproximaciones dividen los costos de las enfermedades en dos: los generados de manera directa e indirecta. Por su parte, estudios como (Yoldascan et al (2010)) y (Dorratolja et al (2017)) analizan los costos de las enfermedades mediante variables cualitativas tales como costos de vacunación, hospitalización y tratamiento. A estas, podríamos añadir para nuestro estudio el costo por realización de pruebas. Cabe resaltar, que los estudios de impactos socioeconómicos de las pandemias se han realizado en su mayoría desde la modelación y simulación basada en agentes (ABMS) y el análisis de costos. No obstante, no se encontró un estudio que abordará el problema desde la dinámica de sistemas. Concluimos que el modelo que se desarrolló en este módulo será útil no solo para los tomadores de decisión de Colombia, sino también para la literatura científica de modelos en dinámica de sistemas.

A partir de la revisión anterior se identificaron los cuatro subsistemas que se muestran en la siguiente figura.



**Figura – Diagrama de bloques y subsistemas de análisis**

El subsistema de epidemia considera el modelo de contagio de la enfermedad y el desarrollo de síntomas, este modelo constituye una entrada fundamental los demás subsistemas, pues es a través de la evolución de la epidemia se dan los cambios en la demanda de servicios hospitalarios y los efectos sobre la actividad económica de una región. El objetivo de este modelo es utilizar como entrada los resultados y las curvas epidémicas proyectadas a partir del modelo detallado en sistemas dinámicos que se desarrolla en el primer módulo del proyecto “Plataforma web para la recolección de datos, visualización, análisis, predicción y evaluación de estrategias de control de la enfermedad producida por SARS-CoV-2 mediante herramientas de modelación matemática, simulación e inteligencia artificial”.

En el subsistema del sector salud se detallan dichos servicios, se evalúa el efecto de la epidemia sobre la saturación del sistema de salud, para esto, se parte de un modelo de flujo de pacientes a través de un sistema hospitalario, considerando la capacidad existente para hospitalización y cuidados intensivos (UCI). Dado que el objetivo de este estudio es entender los efectos colaterales de la pandemia, también se consideran los efectos de la saturación del sistema sobre el flujo de pacientes por otras enfermedades. Adicionalmente, este subsistema considera los retrasos en la capacidad de muestreo y detección de la enfermedad y se estiman los costos que puede traer la pandemia para el sector salud.

En el subsistema de impactos socioeconómicos se incluyen efectos que tiene la enfermedad sobre el consumo, productividad y empleo de diferentes sectores económicos, y las consecuencias de estas dinámicas sobre la informalidad. Finalmente, el módulo de decisiones estatales afecta los demás subsistemas, pues a través de éste se modifican variables como porcentaje de población aislada, medidas de cuidado para el personal de salud, apoyos a empresas y a población más vulnerable, entre otras.

Como se describe en el análisis causal que se puede consultar en la plataforma web, los efectos colaterales involucran desde mortalidad en otras enfermedades hasta pérdida de empleos y productividad económica. Es por esto que las medidas que se adopten en adelante deben tener una visión holística, y no pueden enfocarse en un solo objetivo.

Las simulaciones realizadas con el modelo desarrollado nos permitieron analizar de forma holística dichos efectos. Por un lado, para el objetivo de frenar contagios y disminuir mortalidad de la enfermedad lo más efectivo seguirá siendo el aislamiento de la población. Pero esta medida es insostenible desde el punto de vista económico y social, pues implica, además de frenar el crecimiento económico, frenar los procesos educativos de cientos de miles de niños y adolescentes, y retroceder décadas en muchos objetivos de desarrollo sostenible como mortalidad infantil y materna, mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles, vacunación de otras enfermedades, violencia doméstica y equidad de género, trabajo decente y bien remunerado, entre otros. Por otro lado, una política de apertura total y desmonte de las medidas de bioseguridad permitirá recuperar de forma más rápida la economía, pero implicaría no solo un costo de cerca de 100000 muertes en tres años, sino también un costo monetario de 3.8 billones de pesos en atención a pacientes con COVID-19.

Basados en los resultados de este módulo, nuestras recomendaciones entonces para una política integral son las siguientes:

- Intensificar protocolos de bioseguridad en todos los espacios públicos, tanto abiertos como cerrados y verificar periódicamente que dichos protocolos se estén cumpliendo.

- Intensificar campañas de educación para el autocuidado en la población, pues la tendencia a regresar al status quo es una característica humana. Así, en ausencia de campañas frecuentes, la población puede olvidar lo aprendido y regresar a altas tasas de contagio.

- Mantener una atención oportuna a los pacientes de otras enfermedades y realizar campañas para disminuir el miedo en dichos pacientes, que puede ocasionar complicaciones en el futuro e incluso la muerte.

- Realizar campañas para evitar el juicio o castigo social y económico a las personas que resulten contagiadas, pues esto es un incentivo para que la población evite realizarse una prueba cuando sea un caso sospechoso, u oculte información en caso de ser positivo. Esto requiere cambiar el paradigma de “castigo” por “premio”, sensibilizar a población y empleadores de que quién informa su caso y se aísla oportunamente está salvando vidas.

- Aumentar los esfuerzos de rastreo de contactos de casos positivos.

- Considerar el costo de pacientes evitados dentro de las decisiones económicas y financieras, pues es un indicador que da muestra de que la política más costosa es no hacer nada. De hecho, los costos evitados serían suficientes para vacunar a toda la población susceptible y para ampliar aún más la capacidad hospitalaria en caso de ser necesaria para una segunda ola de contagios en 2021.

- Adicionalmente, un porcentaje de los costos evitados se debería destinar al diseño de programas para apoyo a la población más vulnerable, de forma que los trabajadores informales puedan acceder a servicios oportunos en salud, cumplir el asilamiento obligatorio en caso de contagio, y mantener medidas básicas de autocuidado en los hogares.

- De forma complementaria, intensificar esfuerzos para lograr una vacunación de toda la población con mayor vulnerabilidad antes de marzo de 2021, y en general lograr una vacunación superior al 20% de la población total. Esto permitiría no solo disminuir las muertes por COVID-19, si no evitar saturación del sistema hospitalario y, por ende, evitar una nueva cuarentena.

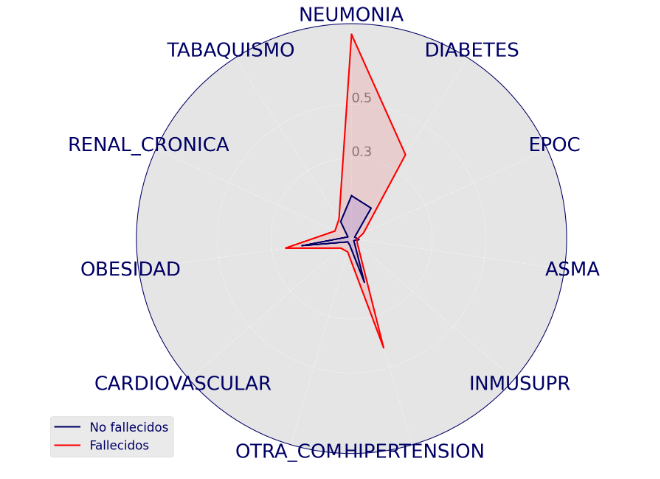
**Objetivo 3: Pronóstico de casos**

Se han obtenido pronósticos diarios del número de contagios, recuperados y fallecidos reportados tanto para Colombia como para algunos departamentos y ciudades principales, con errores inferiores al 5%; para pronósticos de 1 a 10 días, usando el modelo q-exponencial básico en la fase de crecimiento de las curvas, los errores varían entre el 1% y el 10% En la fase de aplanamiento de las curvas, es más útil usar el modelo q-exponencial modificado con ventanas móviles; los pronósticos hasta 5 días adelante proporcionan errores relativos inferiores al 5%. En general, las bandas de pronóstico han tenido un buen desempeño, tal como se puede evidenciar en los errores de pronóstico. Es muy importante resaltar que este modelo es fácil de implementar computacionalmente, es altamente eficiente y se actualiza automáticamente con la información de cada día. En este trabajo se tiene presente el hecho de que el crecimiento de los casos no es como tradicionalmente se considerado en epidemiología, a través de una función de tipo exponencial, como se muestra en (Maier, B. F., and Brockmann, D, 2020)

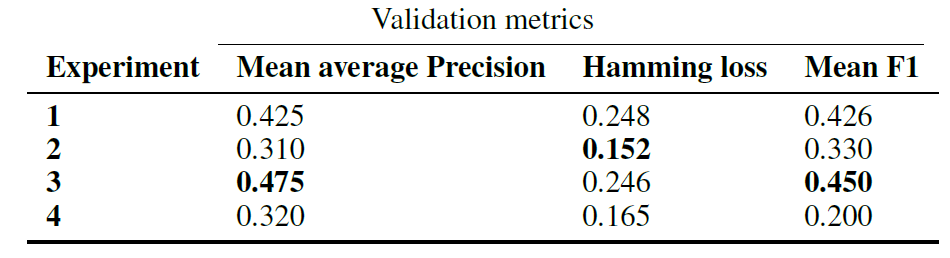
**Objetivo 4: Inteligencia artificial para el análisis de los datos relacionados con COVID-19**

Hemos concluido satisfactoriamente la versión final del diccionario de datos. La versión final del diccionario de datos estaba prevista para el mes 1 (mayo). También hemos construido un diccionario de artículos científicos y de modelos de inteligencia artificial sobre COVID-19. Este diccionario de artículos y de modelos no estaba previsto en el cronograma, pero lo hicimos como un producto adicional. Adicionalmente, hemos concluido la preparación de los datos para los modelos de pronóstico. La preparación de los datos para pronóstico estaba prevista para el segundo mes (mayo). Con estos datos listos, conforme a lo planeado en el cronograma, construimos un modelo de pronóstico en el mes 2 (junio). El primer modelo de pronóstico que construimos es un modelo para predecir el riesgo de mortalidad que tiene una persona infectada con COVID-19.

Analizando los datos para pronóstico que hemos obtenido, hemos descubierto que es posible conseguir algunos datos de Colombia para los pronósticos, como casos de covid-19, muertos por covid-19, información sobre las camas disponibles en UCI, entre otros. Desafortunadamente, no es posible conseguir en Colombia datos que incluyan las comorbilidades y edades de cada paciente de Covid-19. Por esta razón, conseguimos datos de México que incluyen, para cada caso de Covid-19, las comorbilidades de los pacientes. Estos datos ya los hemos procesado y han servido para hacer un modelo para calcular el riesgo que muerte que tiene una persona infectada por Covid-19. Después de la evaluación del modelo, que estaba prevista para el mes 2 (junio), estamos convencidos de que un modelo para predecir el riesgo de muerte de una persona infectada por Covid-19, entrenado con datos de México, se podrá extrapolar para usarse en Colombia. La razón para esta creencia es que el impacto de las comorbilidades sobre la muerte de una persona infectada con Covid-19 es similar en México que en Colombia. Para comprobar esta creencia, desplegamos el modelo de predicción de riesgo en el mes 3 (julio de 2020) con un AUC del 90%, a continuación, mostramos las variables que más afectan el riesgo de una persona de morir al padecer COVID19:



Analizando los datos de redes sociales, hemos encontrado que sí es posible descargar datos de redes sociales para hacer un análisis de qué siente la población de Colombia sobre el Covid-19. Hemos descargado datos de Twitter. Los datos de redes sociales fueron preparados en el mes 4 (agosto). Con estos datos, creamos y evaluamos un modelo para monitorear las emociones de la población en el mes 5 (septiembre) basados en metodologías que han sido validadas por Hasan M, et al (2014). Las emociones a las cuales se les hace el monitoreo son las emociones principales descritas por Paul Ekman (Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions), donde se explica que estas son las emociones básicas, de las cuales se derivan las demás. Estas son: ira, sorpresa, miedo, tristeza, alegría y asco. Adicionalmente en comunicación con profesionales de servicios del área de la salud, específicamente de SURA, fue determinado que es importante el seguimiento y monitoreo de la ansiedad y la depresión en la población. Por lo que utilizamos la relación descrita por Power, M. J. y Tarsia, M, (Power, M. J., & Tarsia, M. (2007). Basic and complex emotions in depression and anxiety. Clinical Psychology & Psychotherapy), ellos realizaron un estudio sobre la relación de enfermedades como la ansiedad y la depresión con las emociones básicas, encontrando índices que las relacionan. Este modelo lo hicimos en colaboración con la empresa Factored, quien nos hizo una consultoría especializada sobre el tema y tuvimos también la colaboración de la Universidad de Adelphi. Fue ajustado mediante una arquitectura Transformer de compresión de lenguaje, específicamente a través del modelo BETO, basado en redes neuronales pre-entrenadas en un corpus de español y posteriormente ajustadas al lenguaje especifico de Twitter. (Cañete, José et al. (2020)). Se utilizó TensorFlow para entrenar el modelo de clasificación de sentimiento, y de esta manera se encontraron los pesos que aprende la arquitectura. Los pesos encontrados son almacenados en un bucket S3 de AWS, donde también se desplegó una instancia EC2 para generar un API de consulta de datos. Mediante la cual es posible clasificar los tweets de acuerdo a sus emociones, para así generar valiosos agregados en rangos de tiempo, por ciudades o cuentas de Twitter. El modelo fue desplegado, en la plataforma web, en el mes 7 (noviembre) Los resultados obtenidos con diferentes métricas de validación en el set de validación fueron los siguientes:



En cuanto al subproyecto para generar mapas de vulnerabilidad futura del covid-19, se usa un enfoque basado en técnicas de aprendizaje automático para identificar regiones con comportamientos socioeconómicos similares debido a Covid-19. El modelo híbrido consiste en un modelo de predicción de series de tiempo de infectados (Smyl S, 2020)., al que se le agregan varias variables de contexto (clima, socioeconomía, incidencia de COVID-19 a nivel de muertes, sospechosos, etc.) en un modelo de aprendizaje no supervisado, para determinar el impacto socioeconómico en las regiones (Carrillo T. et al, 2020). En particular, el modelo no supervisado agrupa regiones similares, y el patrón de cada grupo describe las similitudes socioeconómicas entre ellas [ref]. Nuestros resultados preliminares son muy satisfactorios ya que permiten estudiar la evolución del impacto socioeconómico en cada región / departamento. El modelo utiliza las variables del modelo SEIRD, prediciendo los valores infectados, junto con otras variables de contexto (climáticas, económicas y sociales) para determinar la situación socioeconómica actual de una región. Para ello, nuestro enfoque agrupa las regiones, y el patrón de cada grupo determina las principales características socioeconómicas a analizar. Así, este trabajo presenta un enfoque basado en técnicas de aprendizaje automático para identificar regiones con impactos socioeconómicos similares debido al Covid-19. En nuestro caso, se utiliza para evaluar la evolución del impacto socioeconómico del Covid-19 para Colombia. Nuestro enfoque se puede utilizar para las próximas oleadas de enfermedades relacionadas con el virus corona y otras próximas calamidades virales, para determinar y reducir significativamente el impacto socioeconómico de la propagación de dichas enfermedades.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, el sistema naturalmente sugiere 3 grupos de departamentos, utilizando variables sociales, económicas, geográficas y demográficas. Algunas de estas variables describen características como los niveles de pobreza, dependencia económica, hacinamiento, asistencia escolar, trabajo informal, entre otras. Además, nuestro enfoque considera el comportamiento de la pandemia, en particular, los casos infectados de COVID 19 predichos. Para el modelo de predicción de los valores infectados se usó una red neuronal artificial bajo una arquitectura de aprendizaje profundo (Henrique et al, 2020), y se obtuvo un valor de MAPE (*mean absolute percentage error*) de 54% para 4 semanas de ventana de tiempo, con un R2 (coeficiente de determinación) igual a 0.3. Para la reducción de dimensionalidad de las variables utilizadas, con el fin de extraer las mejores variables de agrupamiento de las regiones, se usó un algoritmo genético que determino el valor de los grupos igual a 3. Finalmente, el índice de silueta para el proceso de agrupamiento usando k-means [ref] con el conjunto de descriptores seleccionados, con k = 3 en cada semana de predicción, es bastante cercana de 1, lo que indica que los 3 grupos construidos están muy bien formados. De la misma forma, el índice de Davies-Boulding es cercano a 0, lo que indica que existen distancias muy pequeñas entre los elementos que componen los grupos. De manera general, los departamentos que componen cada clúster, por las características que los identifican, son muy similares entre sí. Este modelo fue desplegado en la plataforma web en el mes 7 (noviembre).

Finalmente, en el último subproyecto se hizo un modelo de predicción de las variables SEIRD usando técnicas de aprendizaje automático. En este trabajo, los modelos predictivos para las variables SEIRD se desarrollan usando los datos históricos recolectados sobre ellas, y de variables contextuales donde se aplica el modelo (Munroe P. et al, 2020). En particular, las variables contextuales consideradas en este trabajo son (Pedgen W., 2020): población total, cantidad de personas mayores de 65 años, índice de pobreza, tasas de morbilidad, edad promedio y densidad poblacional. Para la construcción de los modelos predictivos SEIRD, este trabajo realiza un análisis profundo de las dependencias de estas variables entre ellas, pero a su vez, las dependencias con las variables del contexto. Así, antes de desarrollar los modelos predictivos mediante técnicas de aprendizaje automático, se propone una metodología para analizar las interdependencias de las variables SEIRD, así como las dependencias con las variables del contexto, con el fin de evitar los problemas de "la maldición de la dimensionalidad". y multicolinealidad. Luego se proponen varios modelos de predicción basados en diferentes técnicas de aprendizaje automático, evaluándose la calidad de la predicción según las relaciones de dependencia previamente determinadas (Contreras A., 2016): interdependencia temporal, intradependencia temporal y dependencia con variables contextuales. Finalmente, el trabajo presenta un análisis de la calidad de nuestro enfoque para Colombia, obteniendo resultados interesantes sobre la calidad de los modelos predictivos para las variables SEIRD y sus dependencias.

En ese trabajo se consideraron las siguientes métricas: RMSE, MAPE, MAE, MSE y R2, las cuales se utilizan para comparar el rendimiento de los modelos predictivos para las variables objetivo (susceptible, expuesta, infectada, recuperada y muerte) con diferentes algoritmos de aprendizaje. En este trabajo se usaron cuatro técnicas de aprendizaje automático: regresión lineal, Random Forest, la red neuronal L-BFGS y la Tecnica Gradient boosting. En general, todos los modelos tienen un comportamiento similar, prediciendo cada variable objetivo con un alto coeficiente de determinación y un bajo error. Sin embargo, Random Forest fue un poco mejor en general. Para el caso sin variables contextuales, los resultados para la variable objetivo "S" para todos los algoritmos fueron buenos, pero para las variables objetivo "I" y "R" a Gradient boosting tiene un coeficiente de determinación bajo. En el caso del análisis de la dependencia del tiempo, todos los modelos tienen un comportamiento similar, prediciendo cada variable objetivo con un alto coeficiente de determinación y un bajo error. Sin embargo, para la variable objetivo "I", tanto la regresión lineal como la red neuronal funcionaron mejor. En el caso del análisis temporal de la dependencia cruzada de las variables SEIRD, todos los modelos tienen un comportamiento similar, prediciendo cada variable objetivo con un alto coeficiente de determinación y un bajo error. Vemos asi que en general, todos los modelos tienen un comportamiento similar en la predicción de cada variable objetivo. Para cada variable, los modelos siguen la forma exponencial que presenta cada variable, conservando el comportamiento de cambios en el tiempo. Esto indica que aprenden bien el comportamiento general de cada variable. Este modelo fue desplegado en la plataforma web en el mes 7 (noviembre).

**Objetivo 5: Plataforma web**

Se realizó el despliegue satisfactorio de la plataforma web con la primera iteración de la plantilla de diseño, se publicaron diferentes módulos y herramientas en fase de pruebas que permiten tener una idea general del propósito y finalidad de la plataforma. Entre estos, se encuentra el formulario o encuesta para identificar casos potenciales, en el cual no solo se recopilan datos, sino que también se exponen en los diferentes mapas a disposición del público de forma segura y rápida, garantizando siempre la anonimidad; además, a través de este módulo y otras fuentes de datos, se puede pensar en un sistema nacional unificado que permita identificar y visualizar los casos activos o potenciales para que la población se concientice del riesgo real en cada lugar. En el momento no se tienen fuentes de datos para georreferenciar los casos activos, incluyendo los asintomáticos, que no se encuentran en UCI.

En los diferentes mapas se tiene en tiempo real los indicadores generales de casos de COVID-19 y los datos demográficos incluyendo los del censo nacional de población y vivienda para cada departamento y municipio. Lo último, con el fin de ayudar a entender las dinámicas específicas con las que viven las personas de cada región. Cabe resaltar que la visualización geoespacial es una herramienta de amplio uso para visualizar los indicadores principales de la pandemia, no obstante, dependiendo de la profundidad o detalle de los datos que se tengan, esta herramienta puede ser de gran ayuda para entender rápidamente las problemáticas asociadas a una región determinada, por ejemplo, si se tienen en cuenta los factores urbanos o medioambientales como ríos, zonas rurales, hospitales, centros deportivos, zonas verdes, supermercados, conjuntos residenciales, entre otros. Lo anterior, hasta el momento, no ha sido posible puesto que no se tiene el nivel de detalle necesario (coordenadas de casos) para este análisis. Sin embargo, la visualización actual ya permite entender el riesgo al nivel de municipios y departamentos, lo cual es de gran ayuda para los diferentes tomadores de decisiones en lo relativo a las fronteras con otras regiones.

Para los módulos de evaluación de políticas y pronósticos-IA, se realizó un proceso iterativo sustentado desde la metodología Design Thinking, de tal manera que se logró avanzar a la etapa de prototipado y pruebas en la cual se están mejorando diferentes aspectos de la implementación como la velocidad de ejecución en el servidor, la actualización de los datos y la interfaz del usuario, para garantizar que el funcionamiento en producción (abierto al público) sea el adecuado. Adicionalmente, cada equipo está trabajando en el mejoramiento de la parte conceptual con el fin de proporcionar a los diferentes módulos del estado del arte respectivo. En conclusión, se tiene un flujo de trabajo que permite que el ciclo de prototipado sea eficaz y eficiente.

**Objetivo 6: Modelo estructural para entender la curva epidémica y el efecto de las políticas públicas sobre ella**

La modelización matemática del proceso de expansión de la enfermedad mediante ecuaciones discretas ha demostrado ser acertado, aseveración debidamente soportada mediante los resultados obtenidos al aplicar la metodología planteada: el modelo no solo presenta un buen desempeño en procesos de optimización multiobjetivo, sino que adicionalmente, los valores de parámetros estimados se mantienen dentro de los intervalos esperados definiendo familias de parámetros con sentido biológico. Hasta la fecha, hemos desarrollado y aplicado un esquema para la construcción de familias de modelos altamente configurables y adaptables a distintos entornos de simulación. Dentro de la familia de modelos que podemos plantear hemos realizado un exhaustivo proceso de selección que nos ha llevado a privilegiar el balance entre complejidad, rendimiento y datos disponibles, esto último teniendo en cuenta tanto la historia natural de la enfermedad como la progresión de esta en el territorio colombiano. Fruto del anterior esfuerzo hemos seleccionado y validado una estructura de modelo acorde con la naturaleza de la enfermedad según la información científica disponible hasta el momento.

El éxito obtenido mediante la aplicación del modelo desarrollado para comprender y modelar escenarios posibles frente a la pandemia nos ha incentivado a desarrollar e implementar rutinas y algoritmos que permiten la automatización del proceso de modelamiento de nuevas localidades, es decir que la progresión de la enfermedad puede modelarse automáticamente tanto de forma temporal como espacial. Con base en la revisión de literatura que hemos realizado, concluimos que tanto este modelo como los mecanismos de automatización constituyen desarrollos novedosos que ya han sido debidamente validados. En general, el modelo planteado nos permite superar algunos limitantes clásicos que se evidencian en la literatura tales como el supuesto de población homogénea, la ausencia de periodos reales de incubación o latencia, la ausencia de comportamientos socioculturales y estrategias de control focalizadas en algunos mecanismos de dispersión de la enfermedad (Victoria, J. G. R. 2020; Peng, L.,v et. al. 2020). Dado lo anterior, creemos que el modelo planteado tiene gran potencial como pieza articuladora entre la toma de decisiones relativas a políticas públicas o económicas y el impacto de estas en la progresión de la enfermedad, esto debido a que los parámetros que constituyen el modelo tienen una equivalencia directa con fenómenos biológicos y sociales que son mesurables.

Uno de nuestros principales intereses ha sido que el modelo desarrollado pueda operar de forma completamente transparente para distintos niveles de usuario, en este orden de ideas, el modelo puede constituirse en una caja negra donde la necesidad de conocimiento previo por parte del usuario es mínima y aun así sea posible cumplir con las necesidades de tal usuario. Además, hemos garantizado que la capacidad de cómputo necesaria para simular el modelo es baja y por tanto puede implementarse sin mayor dificultad en cualquier lenguaje de programación que permita operaciones matriciales. De esta forma, flujos de trabajo como la estimación de parámetros o análisis de sensibilidad, que aun siendo fundamentales en el proceso de modelamiento normalmente escapan de la capacidad de los usuarios, podrían constituirse en herramientas de fácil acceso.

Concluimos que nuestro progreso en cuanto a este objetivo ha sido satisfactorio. De contarse con los suficientes recursos de cómputo, los cuales como ya se ha mencionado son reducidos en comparación con los alcances, podría ser posible monitorear con alta confiabilidad un gran número de localidades, pudiendo además extraer información útil con respecto a los comportamientos sociales y a la efectividad de las diversas medidas para el control de la propagación de la enfermedad. Nos resta entonces identificar escenarios donde sea posible explotar el potencial del modelo como “caja negra” o “engranaje” de procesos más complejos (económicos, por ejemplo), así como la escritura de un artículo donde pueda compartirse con la comunidad científica los avances logrados.

1. **SIGLAS Y ABREVIATURAS**

* ABMS: Modelación y simulación basada en agentes

1. **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alimadadi A., Aryal S., Manandhar I., Munroe P., Joe B., Cheng X. (2020) Artificial intelligence and machine learning to fight COVID-19, Physiol Genomics 52: 200–202.

Abrigo, M. R. M., Uy, J., Haw, N. J., Ulep, V. G. T., Francisco-abrigo, K., Ulep, V. G. T., & Francisco-abrigo, K. (2020). Projected Disease Transmission , Health System Requirements , and Macroeconomic Impacts of the Coronavirus Disease 2019 ( COVID-19 ) in the Philippines. 2019, 34.

Aerodynamic Characteristics and RNA Concentration of SARS-CoV-2 Aerosol in Wuhan Hospitals during COVID-19 Outbreak. (2020). 86(21).

Alleman, T., Torfs, E., & Nopens, I. (2020). Covid-19 : from model prediction to model predictive control.

Alonso Cancino, Pedro Gajardo, Rodrigo Lecaros, Claudio Mu˜noz, H. R., & Ortega, J. (2020). REPORT #1: ESTIMATION OF MAXIMAL CRITICAL HEALTH FACILITIES DEMAND FOR COVID-19 OUTBREAK IN SANTIAGO, CHILE. CMM Uchile. [https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.01.007)

Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Id, C. S. (2020). forecasting of the COVID-19 outbreak. 1–21. [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405](https://doi.org/10.1056/NEJMc2001468)

Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Siettos, C. (2020). Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. PLoS ONE, 15(3), 1–21. [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405](https://doi.org/10.1101/2020.02.17.20023747)

Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Siettosid, C. (2019). Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405>

Al-qaness, M. A., Ewees, A. A., Fan, H., and Abd El Aziz, M. Optimization method for forecasting confirmed cases of covid-19 in china. Journal of Clinical Medicine 9, 3 (2020), 674.

Ashutosh Simha, R. V. P., and Narayana, S. A simple stochastic sir model for covid-19 infection dynamics for karnataka after interventions – learning from european trends. arXiv preprint: 2003.11920 3 (2020).

Azhmyakov, V., Egerstedt, M., & Verriest, E. I. (2020). On the Optimal Control of Volterra Integro-Differential Equations. Cdc, 3340–3345. <https://doi.org/10.1109/cdc40024.2019.9028859>

Balabdaoui, F., & Mohr, D. (2020). Age-stratified model of the COVID-19 epidemic to analyze the impact of relaxing lockdown measures : nowcasting and forecasting for Switzerland. 1–19.

Bardina, X., Ferrante, M., & Rovira, C. (2020). A stochastic epidemic model of COVID-19 disease. 1–14. [http://arxiv.org/abs/2005.02859](https://epidemiologia-matematica.org/pronosticos/)

Bastos, S., and Cajueiro, D. Modeling and forecasting the early evolution of the covid-19 pandemic in brazil. arXiv preprint arXiv:2003.14288 (2020

Benvenuto, D., Giovanetti, M., Vassallo, L., Angeletti, S., and Ciccozzi, M. Application of the arima model on the covid-2019 epidemic dataset. Data in brief (2020), 105340.

Bhapkar, H. R., Mahalle, P., & Dhotre, P. S. (2020). Virus Graph and COVID-19 Pandemic: A Graph Theory Approach. April, 1–20. [https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202004.0507.V1](http://arxiv.org/abs/2005.02766)

Boulmezaoud, T. (2020). A discrete epidemic model and a zigzag strategy for curbing the Covid-19 outbreak and for lifting the lockdown Tahar Boulmezaoud To cite this version : HAL Id : hal-02561048.

Brand, S. P. C., Aziza, R., Kombe, I. K., Agoti, C. N., Hilton, J., Rock, K. S., Parisi, A., Nokes, D. J., Keeling, M., & Barasa, E. (2020). Forecasting the scale of the COVID-19 epidemic in Kenya. MedRxiv, 2020.04.09.20059865. [https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20059865](https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.003)

Cacuci, D. (2003). Sensitivity & Uncertainty Analysis, Volume 1. Sensitivity & Uncertainty Analysis, Volume 1.

Calafiore, G. C., Novara, C., & Possieri, C. (2020). A Modified SIR Model for the COVID-19 Contagion in Italy. 1–6. [http://arxiv.org/abs/2003.14391](https://epidemiologia-matematica.org/)

Cañete, José et al. (2020) Spanish Pre-Trained BERT Model and Evaluation Data- 1-10.

Cao, J., Jiang, X., Zhao, B., Currie, C. S. M., Fowler, J. W., Kotiadis, K., Monks, T., Onggo, S., Robertson, D. A., Tako, A. A., Currie, C. S. M., Fowler, J. W., Kotiadis, K., Monks, T., Onggo, S., Robertson, D. A., Tako, A. A., Monks, T., Giordano, G., … Rachik, M. (2020). reveals the effectiveness of interventions. Journal of Applied Mathematics and Computing, 15(February), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405>

Carcione, J. M., Santos, J. E., Bagaini, C., & Ba, J. (2020). A simulation of a COVID-19 epidemic based on a deterministic SEIR model. 1–33. <http://arxiv.org/abs/2004.03575>

Castilho, C., Gondim, J. A. M., Marchesin, M., & Sabeti, M. (2020). Assessing the Efficiency of Different Control Strategies for the Coronavirus (COVID-19) Epidemic. 1–23. [http://arxiv.org/abs/2004.03539](https://epidemiologia-matematica.org/pronosticos/)

Carillo R., Castillo M. (2020) “Using country-level variables to classify countries according to the number of confirmed COVID-19 cases: An unsupervised machine learning approach”. In: Wellcome Open Research 5.56, p. 56.

Chatterjee, K., Chatterjee, K., Kumar, A., and Shankar, S. Healthcare impact of covid-19 epidemic in india: A stochastic mathematical model. Medical Journal Armed Forces India (2020).

Cherniha, R., and Davydovych, V. A mathematical model for the coronavirus covid-19 outbreak. arXiv preprint arXiv:2004.01487 (2020).

Chen, X., and Yu, B. First two months of the 2019 coronavirus disease (covid-19) epidemic in china: real-time surveillance and evaluation with a second derivative model. Global health research and policy 5, 1 (2020), 1–9.

Chen, X., & Qiu, Z. (2020). Scenario analysis of non-pharmaceutical interventions on global COVID-19 transmissions. 1–22. [http://arxiv.org/abs/2004.04529](https://github.com/juanscr/covid-abms/)

Chen, Y.-C., Lu, P.-E., Chang, C.-S., & Liu, T.-H. (2020). A Time-dependent SIR model for COVID-19 with Undetectable Infected Persons. 1–18. [http://arxiv.org/abs/2003.00122](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050074)

Cherniha, R., and Davydovych, V. A mathematical model for the coronavirus covid-19 outbreak. arXiv preprint arXiv:2004.01487 (2020).

Chikina M, Pegden W (2020) Modeling strict age-targeted mitigation strategies for COVID-19. PLoS ONE 15(7): e0236237

Chudik, A., Pesaran, M. H., & Rebucci, A. (2020). Voluntary and Mandatory Social Distancing: Evidence on COVID-19 Exposure Rates from Chinese Provinces and Selected Countries. Federal Reserve Bank of Dallas, Globalization Institute Working Papers, 2020(382). <https://doi.org/10.24149/gwp382>

Contreras, A.; Atziry, C.; Martínez, J. L.; Sánchez, D. (2016). Analysis of time-series on the forecast of the demand of storage of perishable products. Estudios Gerenciales 32: 387–396.

Cowling, B. J., Li, F., Leung, G. M. ✉, He, X., Lau, E. H. Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y. C., Wong, J. Y., Guan, Y., Tan, X., Mo, X., Chen, Y., Liao, B., Chen, W., Hu, F., Zhang, Q., … Leung, G. M. (n.d.). Brief CommuniCation Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. Nature Medicine. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

Crooks, A. T., & Hailegiorgis, A. B. (2014). An agent-based modeling approach applied to the spread of cholera. Environmental Modelling & Software, 62, 164–177. doi:10.1016/j.envsoft.2014.08.027

Currie, C. S. M., Fowler, J. W., Kotiadis, K., Monks, T., Onggo, B. S., Robertson, D. A., & Tako, A. A. (2020). How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19. Journal of Simulation, 00(00), 1–15. [https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1751570](https://epidemiologia-matematica.org/noticias/)

Dandekar, R., and Barbastathis, G. Neural network aided quarantine control model estimation of global covid-19 spread. arXiv preprint: 2004.02752 1 (2020).

Darabi, N., & Hosseinichimeh, N. (2020). System Dynamics Modeling in Health and Medicine: A Systematic Literature Review. *System Dynamics Review*, (January), 1–45. https://doi.org/10.1002/sdr.1646

Dehning, J., Zierenberg, J., Spitzner, F. P., Wibral, M., Neto, J. P., Wilczek, M., & Priesemann, V. (2020). Inferring COVID-19 spreading rates and potential change points for case number forecasts. 15. [http://arxiv.org/abs/2004.01105](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405)

Domenico, L. Di, Pullano, G., Sabbatini, C. E., Boëlle, P., & Colizza, V. (2020). Expected impact of reopening schools after lockdown on COVID-19 epidemic in. 1–24.

Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. Cognition and Emotion, 6(3–4), 169–200. https://doi.org/10.1080/02699939208411068

Garibaldi, P., Moen, E., & Pissarides, C. (2020). Modelling contacts and transitions in the SIR epidemics model. CEPR Covid Economics, 5, 1–20.

Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Di Filippo, A., Di Matteo, A., & Colaneri, M. (2020). Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. In Nature Medicine. [https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405)

Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Di Filippo, A., Di Matteo, A., Colaneri, M., & Force, the C. I. S. M. P. T. (2020). A SIDARTHE Model of COVID-19 Epidemic in Italy. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7>

Giudici, M., Comunian, A., & Gaburro, R. (2020). Inversion of a SIR-based model: a critical analysis about the application to COVID-19 epidemic. 1–20. <http://arxiv.org/abs/2004.07738>

Goswami, G., Prasad, J., & Dhuria, M. (2020). Extracting the effective contact rate of COVID-19 pandemic. [http://arxiv.org/abs/2004.07750](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004)

Grant, A. (2020). Dynamics of COVID‐19 epidemics: SEIR models underestimate peak infection rates and overestimate epidemic duration. MedRxiv, 2020.04.02.20050674. [https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050674](https://covid19.dis.eafit.edu.co/pronosticos/)

Grant, A. (2020). Dynamics of COVID‐19 epidemics: SEIR models underestimate peak infection rates and overestimate epidemic duration. MedRxiv, 2020.04.02.20050674. [https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050674](https://doi.org/10.1155/2011/527610)

Guzzi, P. H., & Tradigo, G. (2020). Spatio-Temporal Resource Mapping for Intensive Care Units at Regional Level for COVID-19 Emergency in Italy. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103344>

Hasan, M., Rundensteiner, E., Agu E. (2014). EMOTEX: Detecting Emotions in Twitter Messages.

ASE BIGDATA/SOCIALCOM/CYBERSECURITY Conference

Henrique, M., Ribeiro et al. (2020) “Short-term forecasting COVID-19 cumulative confirmed cases: Perspectives for Brazil”. In: Chaos, Solitons Fractals 135, p. 109853.

He, S., Tang, S., & Rong, L. (2020). A discrete stochastic model of the COVID-19 outbreak: Forecast and control. Mathematical Biosciences and Engineering, 17(4), 2792–2804. <https://doi.org/10.3934/mbe.2020153>

He, X., Lau, E. H. Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y. C., Wong, J. Y., Guan, Y., Tan, X., Mo, X., Chen, Y., Liao, B., Chen, W., Hu, F., Zhang, Q., Zhong, M., Wu, Y., Zhao, L., … Leung, G. M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. Nature Medicine, 1–4. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

Ivorra, B., and Ramos, A. M. Application of the be-codis mathematical model to forecast the international spread of the 2019–20 wuhan coronavirus outbreak. ResearchGate Preprint 9 (2020), 1–13.

Jeffrey, L. (2020). Projection of COVID-19 Cases and Deaths in the US as Individual States Re-open May 4,2020.

Jones, C. (2020). Estimating and Simulating a SIRD Model of COVID-19. 2020.

Keyfitz, B. L., & Keyfitz, N. (1997). The McKendrick partial differential equation and its uses in epidemiology and population study. Mathematical and Computer Modelling, 26(6), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0895-7177(97)00165-9](https://doi.org/10.1038/s41586-020)

K.R2020. ScienceDirect preprint 5 (2020), 256–263.

Ke., Guolin, et al. (2017) LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree.

<https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/lightgbm-a-highly-efficient-gradient-boosting-decision-tree/>

Khajji, B., Kada, D., Balatif, O., & Rachik, M. (2020). A multi-region discrete time mathematical modeling of the dynamics of Covid-19 virus propagation using optimal control. Journal of Applied Mathematics & Computing, 1–27. [https://doi.org/10.1007/s12190-020-01354-3](https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648)

Kucharski, A. J., Russell, T. W., Diamond, C., Liu, Y., Edmunds, J., Funk, S., Eggo, R. M., Sun, F., Jit, M., Munday, J. D., et al. Early dynamics of transmission and control of covid-19: a mathematical modelling study. The lancet infectious diseases (2020).

Lancet, 395(10225), 689–697. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9](http://arxiv.org/abs/2003.14391)

Lattanzio, S., & Palumbo, D. (2020). Lifting Restrictions with Changing Mobility and the Importance of Soft Containment Measures : A SEIRD Model of COVID-19 Dynamics. May. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12116.83842>

Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K. S. M., Lau, E. H. Y., Wong, J. Y., Xing, X., Xiang, N., Wu, Y., Li, C., Chen, Q., Li, D., Liu, T., Zhao, J., Liu, M., … Feng, Z. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. In New England Journal of Medicine (Vol. 382, Issue 13, pp. 1199–1207). Massachussetts Medical Society. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>

Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y., Guo, M., Liu, Y., Gali, K., Sun, L., Duan, Y., Cai, J., Westerdahl, D., Liu, X., Xu, K., Ho, K.-F., Kan, H., Fu, Q., & Lan, K. (2020). Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. Nature, 6. [https://doi.org/10.1038/s41586-020](https://github.com/CamiVasz/covid-cosechas)

Liu, Z., Magal, P., Seydi, O., & Webb, G. (2020). A COVID-19 epidemic model with latency period. Infectious Disease Modelling. [https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.03.003](https://covid19.dis.eafit.edu.co/efectos/)

Liu, Z., Magal, P., Seydi, O., & Webb, G. (2020). Understanding unreported cases in the COVID-19 epidemic outbreak in Wuhan, China, and the importance of major public health interventions. Biology, 9(3). [https://doi.org/10.3390/biology9030050](https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1751570)

Lizarralde-Bejarano, D. P., Rojas-Díaz, D., Arboleda-Sánchez, S., & Puerta-Yepes, M. E. (2020). Sensitivity, uncertainty and identifiability analyses to define a dengue transmission model with real data of an endemic municipality of Colombia. PLoS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229668

Lotfi, E. M., Maziane, M., Hattaf, K., & Yousfi, N. (2014). Partial Differential Equations of an Epidemic Model with Spatial Diffusion. International Journal of Partial Differential Equations, 6. <https://doi.org/10.1155/2014/186437>

Magal, P., & McCluskey, C. (2013). Two-group infection age model including an application to nosocomial infection. SIAM Journal on Applied Mathematics, 73(2), 1058–1095. <https://doi.org/10.1137/120882056>

Malki Z., et al., (2020), “Association between weather data and COVID-19 pandemic predicting mortality rate: Machine learning approaches”. In: Chaos, Solitons and Fractal 138 p. 110137

Maier, B. F., and Brockmann, D. Effective containment explains subexponential growth in recent confirmed covid-19 cases in china. Science 368 (2020).

Martcheva, M. (2015). An Introduction to Mathematical Epidemiology. In An Introduction to Mathematical Epidemiology. Springer {US}. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7612-3](http://arxiv.org/abs/2004.07750)

Member, S. (2020). Monitoring and Tracking the Evolution of a Viral Epidemic Through Nonlinear Kalman Filtering : Application to the Covid-19 Case.

Miksch, F., Pichler, P., Espinosa, K. J., Casera, K. S., Navarro, A. N., & Bicher, M. (2015). An agent-based epidemic model for dengue simulation in the Philippines. *2015 Winter Simulation Conference (WSC)*. doi:10.1109/wsc.2015.7408470

Mizumoto, K., Kagaya, K., Zarebski, A., & Chowell, G. (2020). Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. Eurosurveillance, 25(10), 1–5. [https://doi.org/10.2807/1560-7917.es.2020.25.10.2000180](https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050674)

Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems View*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Mossong, J., Hens, N., Jit, M., Beutels, P., Auranen, K., Mikolajczyk, R., Massari, M., Salmaso, S., Tomba, G. S., Wallinga, J., Heijne, J., Sadkowska-Todys, M., Rosinska, M., & Edmunds, W. J. (2008). Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. PLoS Medicine. [https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0050074](https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20050674)

Nishiura, H. (2020). Estimation of the asymptomatic ratio of novel coronavirus infections (COVID-19). Block Caving – A Viable Alternative?, 21(1), 1–9. <https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/>

Pan, H., Shao, N., Yan, Y., Luo, X., Wang, S., Ye, L., Cheng, J., & Chen, W. (2020). Multi-chain Fudan-CCDC model for COVID-19 -- a revisit to Singapore’s case. MedRxiv, December 2019, 2020.04.13.20063792. <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063792>

Paola Lizarralde-Bejarano, D. I., Rojas-Díaz, D. I., Arboleda-Sá nchez, S., & Eugenia Puerta-Yepes, M. (2020). Sensitivity, uncertainty and identifiability analyses to define a dengue transmission model with real data of an endemic municipality of Colombia. [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229668](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9)

Peiris, J. S. M., Chu, C. M., Cheng, V. C. C., Chan, K. S., Hung, I. F. N., Poon, L. L. M., Law, K. I., Tang, B. S. F., Hon, T. Y. W., Chan, C. S., Chan, K. H., Ng, J. S. C., Zheng, B. J., Ng, W. L., Lai, R. W. M., Guan, Y., & Yuen, K. Y. (2003). Clinical progression and viral load in a community outbreak of coronavirus-associated SARS pneumonia: A prospective study. Lancet, 361(9371), 1767–1772. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13412-5](https://epidemiologia-matematica.org/mapa/calor/)

Peirlinck, M., Linka, K., Sahli Costabal, F., & Kuhl, E. (2020). Outbreak dynamics of COVID-19 in China and the United States. Biomechanics and Modeling in Mechanobiology, 0123456789, 1–15. [https://doi.org/10.1007/s10237-020-01332-5](https://covid19.dis.eafit.edu.co/datos/)

Peng, L., Yang, W., Zhang, D., Zhuge, C., & Hong, L. (2020). Epidemic analysis of COVID-19 in China by dynamical modeling. 1–18. <http://arxiv.org/abs/2002.06563>

Perez, L., & Dragicevic, S. (2009). An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. International Journal of Health Geographics, 8, 50. doi:10.1186/1476-072x-8-50

Pidd, M. (1999). Just modeling through : A rough guide to modeling. *Interfaces*, *29*, 118–132.

Power, M. J., & Tarsia, M. (2007). Basic and complex emotions in depression and anxiety. Clinical Psychology & Psychotherapy, 14(1), 19–31. https://doi.org/10.1002/cpp.515

Rahman A., et al (2020) “Data-driven dynamic clustering framework for mitigating the adverse economic impact of Covid-19 lockdown practices”. In: Sustainable Cities and Society 62, p. 102372.

Radulescu, A., & Cavanagh, K. (2020). Management strategies in a SEIR model of COVID 19 community spread. <https://arxiv.org/abs/2003.11150>

Rampini, A. A. (2020). Sequential Lifting of COVID-19 Interventions with Population Heterogeneity. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3579183>

Rothe, C., Schunk, M., Sothmann, P., Bretzel, G., Froeschl, G., Wallrauch, C., Zimmer, T., Thiel, V., Janke, C., Guggemos, W., Seilmaier, M., Drosten, C., Vollmar, P., Zwirglmaier, K., Zange, S., Wölfel, R., & Hoelscher, M. (2020). Transmission of 2019-NCOV infection from an asymptomatic contact in Germany. In New England Journal of Medicine (Vol. 382, Issue 10, pp. 970–971). Massachussetts Medical Society. [https://doi.org/10.1056/NEJMc2001468](https://arxiv.org/abs/2003.12055)

Wirth, R. Hipp, Jochen. (2000). CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining. Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining.

Salamon, T. (2011). Design of agent-based models: Developing computer simulations for a better understanding of social processes. Academic series. Bruckner Publishing, Repin, Czech Republic, 9, 36.

Shaikh, A. S., Shaikh, I. N., and Nisar, K. S. A mathematical model of covid-19 using fractional derivative: Outbreak in india with dynamics of transmission and control.

Shao, N., Cheng, J., & Chen, W. (2020). The reproductive number R0 of COVID-19 Based on estimate of a statistical time delay dynamical system. MedRxiv, 2020.02.17.20023747. [https://doi.org/10.1101/2020.02.17.20023747](https://doi.org/10.1101/2020.03.10.20033803)

Shao, N., Pan, H., Li, X., Li, W., Wang, S., Xuan, Y., Yan, Y., Yu, J., Liu, K., Chen, Y., Xu, B., Luo, X., Shen, C. Y., Zhong, M., Xu, X., Chen, X., Lu, S., Ding, G., Cheng, J., & Chen, W. (2020). CoVID-19 in Japan: What could happen in the future? MedRxiv, 2020.02.21.20026070. [https://doi.org/10.1101/2020.02.21.20026070](https://doi.org/10.3390/biology9030050)

Shao, N., Zhong, M., Yan, Y., Pan, H., Cheng, J., & Chen, W. (2020). Dynamic models for Coronavirus Disease 2019 and data analysis. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 43(7), 4943–4949. <https://doi.org/10.1002/mma.6345>

Simeonov, G. (2019). spread , and a Tool for prediction scenarios. 1–21.

Simha, A., Prasad, R. V., & Narayana, S. (2020). A simple Stochastic SIR model for COVID 19 Infection Dynamics for Karnataka: Learning from Europe. <https://arxiv.org/abs/2003.11920>

Smith, K. M., Machalaba, C. C., Seifman, R., Feferholtz, Y., & Karesh, W. B. (2019). Infectious disease and economics: The case for considering multi-sectoral impacts. *One Health*, *7*(January), 100080. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2018.100080

Singh, R., & Adhikari, R. (2020). Age-structured impact of social distancing on the COVID-19 epidemic in India. [https://arxiv.org/abs/2003.12055](https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202004.0507.V1)

Smith, R. J., Li, J., & Blakeley, D. (2011). The failure of R0. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2011. [https://doi.org/10.1155/2011/527610](https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20059865)

Smyl S. (2020). “A hybrid method of exponential smoothing and recurrent neural networks for time series forecasting”. In: International Journal of Forecasting 36.1, pp. 75–85.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. (S. Isenberg, Ed.) (2nd ed.). Boston, U.S.: McGraw-Hill.

Stilianakis, N. I., & Drossinos, Y. (2010). Dynamics of infectious disease transmission by inhalable respiratory droplets. In Journal of the Royal Society Interface. [https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0026](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7612-3)

Van Zandvoort, K., Jarvis, C. I., Pearson, C. A. B., Davies, N. G., Russell, T. W., Kucharski, A. J., Jit, M., Flasche, S., Eggo, R. M., Checchi, F., Nightingale, E. S., Munday, J. D., Gimma, A., Rosello, A., Villabona-Arenas, J., Funk, S., Atkins, K. E., Diamond, C., Meakin, S. R., … Medley, G. (2020). Response strategies for COVID-19 epidemics in African settings: a mathematical modelling study.

Victoria, J. G. R. (2020). EPIDEMIC DISCRETE MODEL AS AN AID TO CONTROL DECISION-MAKING IN THE COVID-19 PANDEMIC FOR CLOSED POPULATIONS : QUALITATIVE ANALYSIS & CHAOS. April.

Wang, X., Wang, S., Lan, Y., & Tao, X. (n.d.). The impact of asymptomatic individuals on the strength of public health interventions to prevent the second outbreak of COVID-19.

Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China. JAMA. [https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648](https://www.cosecha-segura.org/)

Yamagata, Y. (2020). Simultaneous estimation of the effective reproducing number and the detection rate of COVID-19. 1–12. [http://arxiv.org/abs/2005.02766](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229668)

Yang, C., & Wang, J. (2020). A mathematical model for the novel coronavirus epidemic in Wuhan, China. Mathematical Biosciences and Engineering, 17(3), 2708–2724. <https://doi.org/10.3934/mbe.2020148>

Yang, Q., Yi, C., Vajdi, A., Cohnstaedt, L. W., Wu, H., Guo, X., & Scoglio, C. M. (2020). Short-term forecasts and long-term mitigation evaluations for the COVID-19 epidemic in Hubei Province, China. MedRxiv, 2020.03.27.20045625. <https://doi.org/10.1101/2020.03.27.20045625>

Yang, Z., Zeng, Z., Wang, K., Wong, S. S., Liang, W., Zanin, M., Liu, P., Cao, X., Gao, Z., Mai, Z., Liang, J., Liu, X., Li, S., Li, Y., Ye, F., Guan, W., Yang, Y., Li, F., Luo, S., … He, J. (2020). Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. Journal of Thoracic Disease, 12(3), 165–174. [https://doi.org/10.21037/jtd.2020.02.64](http://arxiv.org/abs/2004.03539)

Yu, X. C. B. First two months of the 2019 coronavirus disease (covid-19) epidemic in china: real-time surveillance and evaluation with a second derivative model. Biomedical central preprint 5 (2020).

Zafer Cakir, H. B. S. A mathematical modelling approach in the spread of the novel 2019 coronavirus sars-cov-2 (covid-19) pandemic. ResearchGate Preprint (2020).

Zhang, Y., Hota, M., & Kapoor, S. (2020). Strategic release of lockdowns in a COVID infection model ∗. 2028274, 1–15.

Zhang, Y., You, C., Cai, Z., Sun, J., Hu, W., & Zhou, X.-H. (2020). Prediction of the COVID-19 outbreak based on a realistic stochastic model. MedRxiv, 1, 2020.03.10.20033803. [https://doi.org/10.1101/2020.03.10.20033803](http://arxiv.org/abs/2004.04529)

Zhou, Y., Ma, Z., & Brauer, F. (2004). A discrete epidemic model for SARS transmission and control in China. Mathematical and Computer Modelling, 40(13), 1491–1506. [https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.01.007](https://doi.org/10.1007/s10237-020-01332-5)

Zhu, H. (2020). Transmission Dynamics and Control Methodology of COVID-19: a Modeling Study. MedRxiv, 2020.03.29.20047118. <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20047118>

Zhu, H., Li, Y., Jin, X., Huang, J., Liu, X., Quian, Y., & Tang, J. (2020). Transmission Dynamics and Control Methodology of COVID-19: a Modeling Study. MedRxiv, 22. <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20047118>

Z. Liu, P. Magal, O. S., and Webb, G. Predicting the cumulative number of cases for the covid-19 epidemic in china from early data. arXiv preprint: 2002.12298 1 (2020).

1. **LISTA DE ANEXOS**

Anexo Objetivo 1.

* Anexo B1 – Modelo conceptual COVID-19 ABMS
* Anexo B2 – Reporte de recolección y análisis de datos
* Anexo B3 – Factores sociodemográficos asociados con prácticas de autocuidado durante la pandemia por Covid 19
* Anexo B4 – Resultados análisis de datos de salida del modelo
* Anexo B5 – Una revisión de estrategias para el COVID 19: Un enfoque basado en agentes
* Anexo B6 – Implementación de la historia natural en *Repast HPC*
* Anexo B7 – Informe del modelo de computación de alto rendimiento ABMS
* Anexo B8 – Verificación, calibración, validación, y experimentación del modelo geoespacial de la propagación del COVID-19 en la ciudad de Medellín.
* Anexo B9 - Una revisión de estrategias para el COVID 19: Un enfoque basado en agentes
* Anexo B10 - Arquitectura de un modelo geoespacial basado en agentes del COVID-19

Anexo Objetivo 2.

* Anexo C1: Revisión de literatura.
* Anexo C2: Análisis de variables.
* Anexo C3: Análisis de diagramas causales.
* Anexo C4: Explicación del modelo matemático
* Anexo C5: Modelo de simulación en Stella Architect.
* Anexo C6: Descripción y análisis de pruebas de validación.
* Anexo C7: Simulación de Escenarios para Medellín.
* Anexo C8: Recomendaciones para una política integral en Medellín.
* Anexo C9: Guía de usuario para plataforma web.

Anexos Objetivo 3.

* Anexo D1: Referencias Bibliográficas
* Anexo D2: Códigos Matlab
* Anexo D3: Códigos Python
* Anexo D4: Artículo Versión Final

Anexos Objetivo 4.

* Anexo A1: Diccionario de datos
* Anexo A2: Datos para el modelo de predicción de riesgo de muerte
* Anexo A3: Datos para el mapa de riesgo
* Anexo A4: Datos de Twitter para monitoreo de emociones
* Anexo A5: Cuaderno Jupyter con el modelo de predicción de riesgo de muerte
* Anexo A6: Cuaderno Jupyter con el modelo de monitoreo de emociones
* Anexo A7: Cuaderno Jupyter con el modelo de mapa de riesgo
* Anexo A8: Reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de predicción de riesgo
* Anexo A9: Reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de monitoreo de emociones / Divulgación de resultados
* Anexo A10: Reporte con la evaluación cuantitativa del modelo de mapa de riesgo / Divulgación de resultados
* Anexo A11: Datos para el modelo de predicción de las variables SEIRD con machine learning
* Anexo A12: Cuaderno Jupyter con el modelo de predicción de las variables SEIRD con machine learning
* Anexo A13a: Artículo del modelo SEIRD
* Anexo A14a: Artículo del modelo del mapa de vulnerabilidad
* Anexo A13b: Notificación recibido de Artículo del modelo SEIRD
* Anexo A14b: Notificación recibido de Artículo de MAPA

Anexo Objetivo 6.

* Anexo E1: Modelo de propagación del Covid-19
* Anexo E2: Listado de cambios realizados en el modelo matemático
* Anexo E3: Modulo pronóstico COVID-19
* Anexo E4: Metodología de estimación de parámetros e intervalos de confianza
* Anexo E5: Análisis de sensibilidad para intervalos de parámetros de Colombia
* Anexo E6: Informe de simulaciones del modelo para Colombia
* Anexo E7: Plan cosecha Gobernación de Antioquia
* Anexo E8: Convenio EAFIT-CIB

Cordialmente,



**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

María Eugenia Puerta Yepes

Investigadora Principal