

SIMULADOR ESTADISTICO DE CONTAGIOS PARA COVID-19 USANDO 13 VARIABLES DEL SISTEMA DE SALUD

STATISTICAL SIMULATOR OF CONTAGION FOR
COVID-19 USING 13 VARIABLES OF
THE HEALTH SYSTEM

María Beatriz Bernabé Loranca

Facultad de Ciencias de la Computación / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
beatriz.bernabe@gmail.com

Estefanía Sarmiento Barrios

Facultad de Ciencias de la Computación / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
estefania.sarmiento@alumno.buap.mx

Carmen Cerón Garnica

Facultad de Ciencias de la Computación / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
carmen.ceron@correo.buap.mx

Rebeca Rubio Quintero

Facultad de Ciencias de la Computación / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
rebeca.rubio@alumno.buap.mx

Gerardo Martínez Guzmán

Facultad de Ciencias de la Computación / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
gmartinez54@hotmail.com

Recepción: 3/diciembre/2020

Aceptación: 30/junio/2021

Resumen

La probabilidad de contagio del COVID-19, ocasionada por el SARS-CoV2 depende de varios factores. Por lo cual, organismos internacionales han sugerido distintas medidas de prevención de contagio como son mantener una distancia de al menos dos metros, frecuente lavado de manos y el uso de mascarilla. Por otra parte, a pesar de las medidas establecidas, el COVID-19 puede ser más agresivo con personas de edad avanzada, con padecimientos previos de enfermedades como la diabetes, hipertensión u obesidad. El objetivo de este trabajo es presentar un simulador de contagios para COVID-19 (SM-COVID19) desarrollado en Visual

Basic .NET mediante escenarios probabilísticos utilizando datos abiertos de distintos organismos de México para determinar las probabilidades de contagio y del crecimiento de la curva de infectados que son reportados cada día. A partir de estos datos, usando 13 variables del sistema de salud. La propuesta de simulación se enfoca en calcular las probabilidades de contagio en tres distintos escenarios: mejor de los casos, caso promedio y peor de los casos. Estas probabilidades se ajustan a los factores de riesgo que son señalados por la Secretaría de Salud. Con los resultados alcanzados, ha sido posible expresar el crecimiento de la curva de los contagios identificados como positivos al COVID-19 y enfatizar las medias de prevención en la sociedad.

Palabras Clave: Contagios, SARS-CoV2, Simulador estadístico.

Abstract

The probability of contagion of COVID-19, occasioned by SARS-CoV2 depends on several factors. Therefore, international organisms have suggested different measures of prevention of contagion such as to maintain a distance of at least two meters, frequent hand washing, and the use of mask. On the other hand, despite of the established measures, COVID-19 can be more aggressive with elderly people, with previous conditions of diseases like diabetes, hypertension or obesity. The objective of this work is to present a contagion simulator for COVID-19 developed in Visual Basic .NET through probabilistic scenarios using open data of distinct organisms of Mexico to determine the probabilities of contagions and growth of the curve of infected people which are reported every day. From these data, the proposal of simulation focuses on calculating the probabilities of contagions in three different scenarios: best of the cases, average case and worst of the cases. These probabilities adjust to the risk factors that are indicated by the Health Secretary. With the reached results, it has been possible to express the growth of the curve of the identified contagions as positives to COVID-19 and to emphasize the prevention measures in society.

Keywords: Contagions, SARS-CoV2, Simulator.

1. Introducción

Durante las últimas décadas, el mundo se ha expuesto a una serie de amenazas sobre brotes virales emergentes de diferente tipo y magnitud [Millán et al., 2020]. Actualmente la salud pública global mantiene su atención en la infección causada por un nuevo virus que la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala como SARS-CoV2 y que ocasiona el Covid-19 [Who, 2019], [Patel, Jernigan, 2020].

Dentro de la literatura actualmente existen pocos trabajos de simuladores para el Covid-19 dado que la pandemia 2020 es reciente. Esto no significa que no existan contribuciones distintas; es posible hallar en revistas e internet, decenas de escritos sobre el SARS-CoV2 desde el enfoque epidemiológico, virológico y modelos matemáticos para poder aplanar la curva [Anastassopoulou, Russo, Tsakris y Siettos, 2020], [Ivorra, Ferrández, Vela-Pérez y Ramos, 2020]. Sin embargo, aplicaciones pragmáticas para simular los contagios no han sido totalmente reportadas, es por ello que no ha sido fácil encontrar trabajos desde esa perspectiva, y por tanto, es una de las contribuciones de nuestro artículo: Proporcionar una herramienta viable y de fácil uso capaz de acercarse a distintos escenarios tan solo cambiando los parámetros en el simulador, el cual se ha desarrollado mediante Visual Basic .NET y el uso de macros para facilitar la representación y manejo de datos para el usuario mediante una vista de hoja de cálculo, siendo un simulador de contagios accesible, portable y que proporciona distintos resultados dependiendo de los parámetros que el usuario elija. Para el mejor de los casos, cuando estos descienden, la situación se describe como el comportamiento de aplanamiento de la curva de esta pandemia 2020.

En diciembre del 2019, la provincia de Hubei en Wuhan, China se convirtió en el epicentro de un brote de neumonía de causas desconocidas, de los cuales 7 pacientes se encontraban en condiciones críticas [Wang, Horby, Hayden y Gao, 2020], la cual tenía como etiología un nuevo patógeno humano, conocido provisionalmente como Coronavirus y unas semanas después como enfermedad por Coronavirus 2019 causada por el virus SARS-CoV2 [Rodriguez-Morales, et al., 2020]. Al principio del descubrimiento de los coronavirus se pensó erróneamente que la enfermedad no era altamente contagiosa, ya que no había registros de

infección de persona a persona, sin embargo, en diciembre de 2019 y por causas en ese momento desconocidas se presentaron casos de contagios inusuales. Tan solo diez días después, un total de 571 casos habían sido reportados en 25 provincias de toda China. [Huang, et al., 2020].

Mientras tanto en Wuhan, una vez que se conseguía más información del SARS-CoV2, se registraban al mismo tiempo el número de contagios que indicaban un considerable aumento, de tal modo que se llegó a la conclusión de que el virus era altamente contagioso. A partir de ahí el número de pacientes contagiados se incrementó exponencialmente y para el 30 de enero se habían reportado 90 casos en diferentes países incluyendo Taiwán, Tailandia, Vietnam, Malasia, Nepal, Japón, Singapur, Estados Unidos, Filipinas, India, Australia, Canadá, Francia y Alemania [Rothan y Byrareddy, 2020],

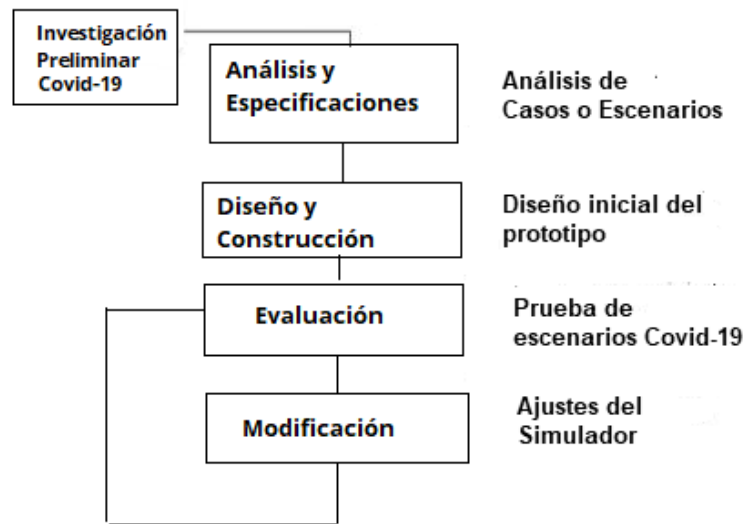
La OMS reporto 118, 000 casos reportados en 114 países y 4291 personas fallecidas, la OMS declara que el brote de la enfermedad del Coronavirus 19, es considerada una pandemia [Medina, 2020].

Dado que la pandemia de esta infección está influenciada por numerosos factores, se reconoció la importancia de llevar un control epidemiológico para prevenir y controlar la propagación del COVID-19, indicando a las autoridades de cada nación implementar medidas de vigilancia, pruebas diagnosticadas, estrategias de manejo de pacientes y comunicación adecuada de la información [Rodríguez-Morales, et al., 2020]. Los principales síntomas asociados a esta enfermedad son fiebre, tos, disnea, dificultad respiratoria, entre otros, por lo que se determinó que la mejor manera de evitar la propagación es el aislamiento de los pacientes que presenten síntomas y el distanciamiento social, de tal forma que las personas que aún no estén infectadas no corran el peligro de adquirir este virus [Rothan y Byrareddy, 2020].

2. Métodos

La investigación se enfocó en una metodología cuantitativa, con un diseño de carácter transversal y descriptivo lo cual permite acercarnos al análisis de la situación de estudio e identificar tendencias existentes entre los escenarios analizados de Covid-19.

Por otra parte, se utilizó el modelo de desarrollo de software por prototipos como se observa en la figura 1 para la construcción del simulador, cuyo objetivo fue evaluar los escenarios probabilísticos. Usando como entrada la información de datos abiertos que la Secretaría de Salud proporcionó sobre COVID-19 recolectados por el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades Respiratoria-Viral. Este sistema compuesto por 475 unidades monitoras de enfermedades respiratoria-viral en todo el país del sector salud (IMSS, ISSSTE, SEDENA, SEMAR, etc. [SS, 2020].



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Modelo de prototipos y etapas en la construcción del Simulador.

Etapa 1. Análisis y Especificaciones

Descripción de variables de estudio para el simulador

Para este trabajo, los datos descargados fueron del 28 de abril del 2020. La base de datos no cambia las cifras de los días, solo actualiza los números para el día corriente y se compone de 35 campos, de los cuales utiliza 13 variables. Sin embargo, las variables 1 a 13 contienen cantidades que la secretaria de salud ofrece en su plataforma, pero el simulador puede aceptar otras cantidades para establecer escenarios en distintas situaciones.

- SEXO: Identifica al sexo del paciente.
- EDAD: Identifica la edad del paciente.
- EMBARAZO: Identifica si la paciente está embarazada.

- DIABETES: Identifica si el paciente tiene un diagnóstico de diabetes.
- EPOC: Identifica si el paciente tiene un diagnóstico de EPOC.
- ASMA: Identifica si el paciente tiene un diagnóstico de asma.
- INMUSUPR: Identifica si el paciente presenta inmunosupresión.
- HIPERTENSION: Identifica si el paciente tiene un diagnóstico de hipertensión.
- CARDIOVASCULAR: Identifica si el paciente tiene un diagnóstico de enfermedades cardiovasculares.
- OBESIDAD: Identifica si el paciente tiene diagnóstico de obesidad.
- RENAL_CRONICA: Identifica si el paciente tiene diagnóstico de insuficiencia renal crónica.
- TABAQUISMO: Identifica si el paciente tiene hábito de tabaquismo.
- RESULTADO: Identifica el resultado del análisis de la muestra reportado por el laboratorio de la Red Nacional de Laboratorios de Vigilancia Epidemiológica (INDRE, LESP y LAVE) [SS, 2020].

El campo de edad es categorizado en 5 grupos:

- Infancia: 0 a 12 años.
- Adolescencia: 13 a 19 años.
- Juventud: 20 a 25 años.
- Adulthood: 26 a 59 años
- 3^{ra} edad: + 60 años.

Creación de escenarios y probabilidades

Para el cálculo de las probabilidades se toman los datos descritos en la sección anterior. Se utilizó el campo de “RESULTADO” para conocer el número de infectados de cada sector, el cual tiene tres tipos de respuesta 1: SI – POSITIVO, 2: NO – NEGATIVO y 3: EN ESPERA. Esta información permitió ordenar los siguientes resultados apoyándonos en los datos abiertos de México. La información se estructuró tal como puede verse en las tablas 1 y 2.

Tabla 1 Grupos de edad vulnerables. (28 de abril de 2020).

Etapa	Inicio (años)	Final (años)	Total de sospechosos	Infectados	Porcentaje Infectados*100/Total de sospechosos.
Infancia	0	12	3595	175	4.9
Adolescencia	13	19	1957	180	9.2
Juventud	20	25	5795	736	12.7
Adultez	26	59	53673	12238	22.8
3ra edad	60+		11985	3423	28.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2 Grupos vulnerables por enfermedad

Enfermedad	Total de sospechosos	Infectados	Porcentaje Infectados*100/Total de sospechosos
Renal crónica	1906	388	20.4
Cardiovascular	2487	473	19.0
Tabaquismo	7555	1496	19.8
Diabetes	10210	3064	30.0
Asma	3655	585	16.0
Hipertensión	13450	3640	27.1
Obesidad	12391	3463	27.9
Inmunesupresión	1977	314	15.9
Epoc	2076	421	20.3
Embarazo	16752	99	0.6

Fuente: Elaboración propia.

- Total: corresponde al total de personas que estuvieron en contacto con un infectado de cada sector, incluyendo infectados y no infectados.
- Infectados: indican las personas que han sido contagiadas y se etiquetan con el valor 1 para el posterior proceso de simulación.
- Porcentaje: es el cociente de infectados entre el total de sospechosos que significa en términos porcentuales que un sector se encuentre contagiado.

Por ejemplo, la tupla infancia significa la población de los casos reportados por la secretaria de salud que va de los 0 a 12 años.

Descripción de los casos que el simulador procesa

Se consideran tres diferentes casos a simular y corresponden a los escenarios: 1) caso promedio, 2) mejor de los casos y 3) peor de los casos. Para conseguir el

resultado correcto fue necesario dividir en tres partes la lista de porcentajes y factores que necesita el simulador (Tabla 3).

Tabla 3 Porcentajes para tres casos y factores de riesgo asociados

Escenario	Factor	Porcentajes tomados de la tabla 1 y 2
Peor de los casos	Embarazo	0.6
	Infancia	4.9
	Adolescencia	9.2
	Juventud	12.7
	Inmunesupresión	15.9
Caso promedio	Asma	16.0
	Cardiovascular	19.0
	Tabaquismo	19.8
	Epoc	20.3
	Renal crónica	20.4
Mejor de los casos	Aduldez	22.8
	Hipertensión	27.1
	Obesidad	27.9
	3ra edad	28.6
	Diabetes	30.0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se calcularon los promedios para cada caso dado que esa media es necesaria para alimentar el simulador.

Tabla 4 Promedio para mejor caso, caso promedio y peor caso

Peor de los casos	Caso Promedio	Mejor de los casos
8.6	19.1	27.28

Fuente: Elaboración propia.

Se justifican 3 casos para procesarse en el simulador debido a que las pruebas algorítmicas en general se centran en probar la eficiencia si el algoritmo es capaz de responder a la peor, mejor y caso promedio; Por lo cual, en este trabajo los casos de prueba se sitúan en contagio extremo (peor de los casos), contagio promedio (caso medio) y contagio ideal (la mejor situación para todos, sin contagios).

En la simulación se genera una lista de personas a las cuales se les asigna el porcentaje de un factor de forma aleatoria. Para esta simulación cada persona tiene una y solo una condición o padecimiento con un porcentaje asignado que se toma

de la tabla 3. Estos porcentajes representan la vulnerabilidad ante los factores previo a ser infectados, por ejemplo, el porcentaje menor significa menos “probabilidad de contagio”. En el simulador, al procesar los casos, el porcentaje asignado a cada persona se considera para simular si esa persona ha sido contagiada de Covid-19, entonces se asigna el valor 1 si es contagio y 0 en si no está infectada.

Los valores 1 se asignan aleatoriamente tanteando los contagios iniciales relacionados directamente con el número de personas que interactúan con ellos. Esta aleatorización se calcula con la distribución normal al mismo tiempo que se le asigna a cada caso infectado un porcentaje dentro de los rangos de la tabla 3. Por ejemplo, asúmase que se elige simular contagios del mejor de los casos, si el número de contagios iniciales es 3, entonces habrá “1-1-1” infectados; en virtud de que estamos describiendo al mejor de los casos, habrá 3^2 contagios. Supóngase también que la aleatorización obtenida fue 27.9, por tanto, se tendrán 9 contagios por lo menos con asignación de porcentaje mayor o igual a 27.9 para cada infectado.

Peor de los casos

El peor de los casos tiene un promedio de 8.6, a pesar de ser un número “pequeño” es el más alarmante ya que este número tiene mayor amplitud y si el valor de contagio inicia en 8.6 para un 1 asignado, a partir de ese punto cada 1 tendrá un valor de factor de contagio mayor a 8.6 de manera aleatoria con la distribución Normal. Si el factor asignado es menor a 8.6 entonces se asigna un 0. Son 12 de 15 factores los que tienen un valor superior a 8.6 entonces es más probable que el número de contagios sea altamente significativo, por tanto, se justifica que este escenario es el peor de los casos.

Caso promedio

El caso promedio tiene un valor de 19.1, entonces son 8 factores de los 15 establecido en la tabla 3, por tanto, para los factores mayores a 19.1 se dice que es un caso neutral o promedio porque solo 8 de los padecimientos llevarían a un contagio de Covid-19. Los 7 factores restantes se encontrarían excluidos, lo que

implica que el número de contagios sería menor a si se compara al peor de los casos.

Mejor de los casos

El mejor de los casos tiene un promedio de 27.28, solo son 3 factores los que cuentan con un porcentaje mayor a este valor, lo cual indica una disminución en el número de contagios ya que son menos las personas que tienen este riesgo. Las personas que tienen porcentajes menores a 27.28 en este simulador no representarían un contagio

Caso inicial e interacción con un número de personas específico

La simulación del programa se desarrolló en Visual Basic creando una vista de hoja electrónica para facilitar el manejo de la aplicación. Este simulador responde a la preocupación sobre infectados que se notificó en la central de abastos (CDMX, 26 de abril 2020). En esta situación, se localizaron a tres personas que dieron positivo a COVID19, lo cual motivó el desarrollo de este trabajo.

Para dar inicio al proceso de simulación es necesario indicar el número de contagios dentro de una población, que en este primer ejemplo es 3 de contagios (Tabla 5). Las personas infectadas se representan con el número "1" mientras que las que no están contagiadas se representan con el número "0". Para este primer caso (el contagio inicial), no importa el total de la población siempre y cuando los contagios solo sean tres.

Tabla 5 Número de contagios dentro del caso inicial.

Caso Inicial																		
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

También es indispensable para el simulado señalar el número de personas con el que van a interactuar los contagiados (Tabla 6), porque de eso depende el incremento de la población infectada (tamaño de la lista). Mientras más grande sea el número de personas con las que se interactúa (columna "Filas"), mayor será el

tamaño de la próxima lista.

Tabla 6 Número de interacciones con cada contagiado (contacto entre los infectados).

Filas
3

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2. Diseño y Construcción

Asignación aleatoria de probabilidades

Para asignar las probabilidades de forma aleatoria en una lista, se utilizó la función “ProbabilidadAleatoria ()”. Este cálculo se encarga de generar la columna de “Probabilidad de contagio” (Figura 2), la cual se consigue de multiplicar las celdas “Fila- Número de contagios” y se alimenta de los valores de la columna de factores. A través de esta macro también es leído un nuevo valor cada vez que el botón de un caso es elegido, entonces, este valor es reasignado al tamaño de la probabilidad de contagio que responde al cambio del número de contagios en cada iteración.

Filas	Factor	Probabilidad de contagio
5	0.6	30
	4.9	4.9
Número de contagios	9.2	20.4
3	12.7	19
	15.9	19
	16	0.6
	19	22.8
Caso Promedio	19.8	27.9
	20.3	15.9
Mejor de los casos	20.4	19.8
	22.8	28.6
Peor de los casos	27.1	28.6
	27.9	27.9
	28.6	20.4
	30	16

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Cálculo de probabilidad aleatoria dentro del simulador.

Creación de nuevas listas

Para la creación de las nuevas listas se realiza un complemento a la función “ProbabilidadAleatoria ()”, el cual consiste en obtener la probabilidad de contagio y

posterior a esto, en una nueva columna se copian los resultados de esta probabilidad y uno por uno se verifican para comparar el valor con el promedio de la categoría asignada y así establecer el valor de “1” o “0”. La función “ProbabilidadAleatoria()” representa el caso promedio, con probabilidad de contagio a 19.1. Si la probabilidad de contagio asignada aleatoriamente es mayor a 19.1 entonces el valor se determina como “1”, caso opuesto, si la probabilidad de contagio es menor a 19.1, el valor se establecerá como “0”. La función “deseado ()” denota el mejor de los casos, por lo que el valor de probabilidad de contagio corresponde a 27.28. Si la probabilidad de contagio asignada aleatoriamente es mayor a 27.28, el valor se determina como “1”, por el contrario, si la probabilidad de contagio es menor a 27.28, el valor será “0”. La función “noDeseado ()” representa el peor de los casos, por lo que el valor de probabilidad de contagio corresponde a 8.66. Si la probabilidad de contagio asignada aleatoriamente es mayor a 8.66, el valor se establecerá como “1”, por el contrario, si la probabilidad de contagio es menor a 8.66, el valor se establecerá como “0”.

Conteo de nuevos contagios

La función “Conteo ()” es utilizada para enumerar las apariciones del valor “1”, el cual se refiere a que una persona ha sido infectada (de acuerdo con el caso en el que se esté realizando la prueba). Este mecanismo básicamente recorre la última lista creada y mediante una condición, contabiliza solo los campos que contengan el valor 1 y posterior a ello, revelar el total en una celda separada. Esta celda se actualiza cada vez que se hace una iteración (Tabla 7).

Tabla 7 Número de contagios.

Número de contagios
19

Fuente: Elaboración propia.

Diseño inicial del simulador

Para la correcta aplicación y uso de está macro es importante seguir una serie de pasos para lograr resultados acertados. Al abrir el archivo asociado se observará

una interfaz como la que se muestra en la figura 3, la cual tiene dos entradas de datos. La primera entrada es la celda con leyenda “Filas”, que se refiere al número de personas con la que tendrá interacción una persona infectada. La celda “Número de contagios”, influye directamente en la columna de contagio inicial.

Filas	Factor	Probabilidad de contagio	Contagio inicial
	0.6	19	0
	4.9	0.6	0
Número de contagios	9.2	28.6	1
3	12.7	27.1	0
	15.9	30	0
	16	16	0
	19	30	0
Caso Promedio	19.8	28.6	1
	20.3	12.7	0
	20.4		0
Mejor de los Casos	22.8		0
	27.1		0
	27.9		0
Peor de los casos	28.6		0
	30		1
			0
Aleatorios y número de contagios			0
			0
			0
			0
Limpiar Registros			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Simulador de contagios.

Para el caso exclusivo del ejemplo del contagio en la central de abastos, se tomó un contagio inicial de tres personas en una población de veinte, si es modificada la celda de número de contagios también debería de aumentar o disminuir la cantidad de “1” según corresponda. La columna con el nombre de “Factor” solo muestra los factores de contagio que anteriormente se mencionaron. Para la columna de Probabilidad de contagio se describe una lista donde están asignados aleatoriamente los factores de contagio (el número de filas en esta columna es igual al número de contagios por la celda de las filas).

Para obtener resultados:

- Asignar el valor de la celda de “Filas”.
- Seleccionar el botón en el caso que se quieren generar las pruebas: Caso Promedio, Mejor de los Casos, Peor de los casos.
- Seleccionar el botón “Aleatorios y número de contagios”.
- Repetir pasos 2 y 3 hasta que se obtenga el resultado.

Diferentes pruebas:

- Para cada prueba debe elegirse el mismo caso.
- Para poder probar con un caso distinto debe seleccionarse el botón de “Limpiar Registros”.
- El botón “Aleatorios y número de contagios” crea una nueva columna, delante de la última columna generada. Esta columna representa el número de contagios con respecto a la iteración anterior, también es actualizado el valor en la celda asociada
- Si los casos crecen rápidamente el simulador enviará un error debido a que las filas ya no serán suficientes para poder dar un resultado.

3. Resultados

Etapas 3. Evaluación: Casos de Prueba

En los resultados descubiertos con el simulador de contagios (Tabla 8), cada iteración en la ejecución mostrada con una nueva columna representa al número de días transcurridos desde el primer contagio. El contagio inicial es el día 0 y las siguientes columnas creadas serán el día 1, 2, 3, etcétera. Como observación, es importante mencionar que para la suma total de los casos no se toma en cuenta el día inicial.

Primera prueba

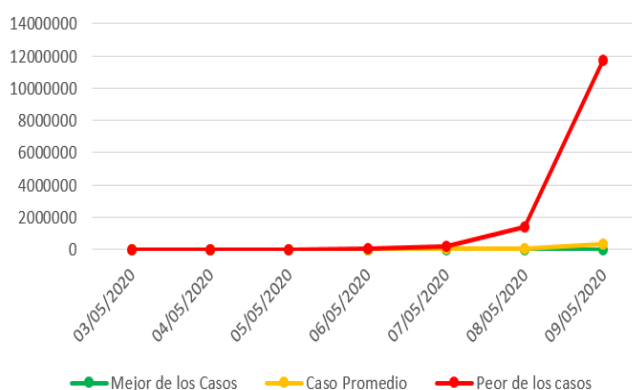
La primera prueba fue realizada del 3 al 9 de mayo del 2020 con los datos de México. Se presenta una simulación donde el número de personas que interactúa con cada infectado es de tres (tabla 8). Este escenario al compararse con los datos

oficiales del número de contagios por fecha coincide con buena aproximación a los resultados obtenidos en esta primera prueba. En la figura 5, es posible notar el crecimiento de contagios comparando los tres casos.

Tabla 8 Resultados de la primera prueba.

Iteración - Día	Mejor de los casos		Caso promedio		Peor de los casos	
	Población	Contagios	Población	Contagios	Población	Contagios
Contagio inicial – Día 0	20	3	20	3	20	3
Iteración1 – 03/05/2020	9	1	9	5	9	9
Iteración2 – 04/05/2020	3	1	15	8	27	23
Iteración3 – 05/05/2020	3	1	24	10	69	60
Iteración4 – 06/05/2020	0	0	30	13	180	158
Iteración5 – 07/05/2020	0	0	39	20	474	397
Iteración6 – 08/05/2020	0	0	60	31	1191	1032
Iteración7 – 09/05/2020	0	0	94	49	3096	2677
Total		6		139		4359

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Crecimiento de contagios para la prueba 1.

En el mejor de los casos, es casi imperceptible el aumento debido a que solo se generan seis contagios y se erradica el virus. En el caso promedio para el día siete, apenas empieza a crecer la curva por lo que no representaría un mayor riesgo hasta

ese momento. En el peor de los casos se puede apreciar que en el día siete, los casos de contagio se elevaron demasiado con respecto a los otros dos casos, lo que indica implementar confinamiento con medidas agresivas, bajo el supuesto de que esta simulación sea real, sin embargo, es muy parecida la curva a lo que vive México actualmente.

Segunda prueba

La segunda prueba fue realizada del 10 al 16 de mayo del 2020 (Tabla 9) y consiste en aumentar el número de personas con las que interactúan los infectados, asumiendo que ha transcurrido una semana más. Dicho número aumenta a siete; el aumento intencional consiste en revelar que, al correr los días, el número de infectados aumentará considerablemente.

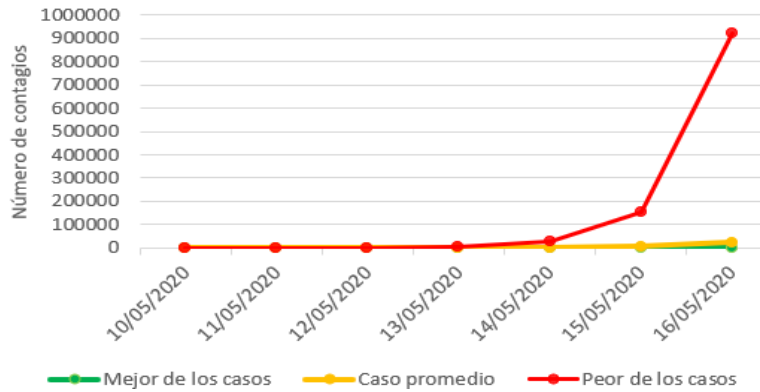
Tabla 9 Resultados de la segunda prueba.

Iteración - Día	Mejor de los casos		Caso promedio		Peor de los casos	
	Población	Contagios	Población	Contagios	Población	Contagios
Contagio inicial – Día 0	20	3	20	3	20	3
Iteración1 – 10/05/2020	21	5	21	8	21	17
Iteración2 – 11/05/2020	35	10	56	30	119	109
Iteración3 – 12/05/2020	70	10	210	122	763	665
Iteración4 – 13/05/2020	70	12	854	442	4655	4023
Iteración5 – 14/05/2020	84	15	3094	1674	28161	24416
Iteración6 – 15/05/2020	105	26	11718	6284	170912	148183
Iteración7 – 16/05/2020	182	43	43982	23589	1037281	899336
	Total	124		32152		1076752

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se muestra el comportamiento de los resultados obtenidos en la prueba. Para el mejor de los casos la curva parece que esta paralela al eje 0. Sin embargo, esto situación responde a la comparación de los otros casos con elevado

aumento de casos. Por otro lado, la curva del peor de los casos a partir del día 5 tiene gran incremento e invariablemente los contagios van en aumento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Crecimiento de contagios para la prueba 2.

Tercera prueba

La tercera prueba fue realizada del 17 al 23 de mayo del 2020 (Tabla 10). Para esta simulación, se elevó intencionalmente el número de personas con las que interactúan los infectados para que el número creciera a 10. Aquí se pone en evidencia que a mayor contacto mayor número de personas contagiadas.

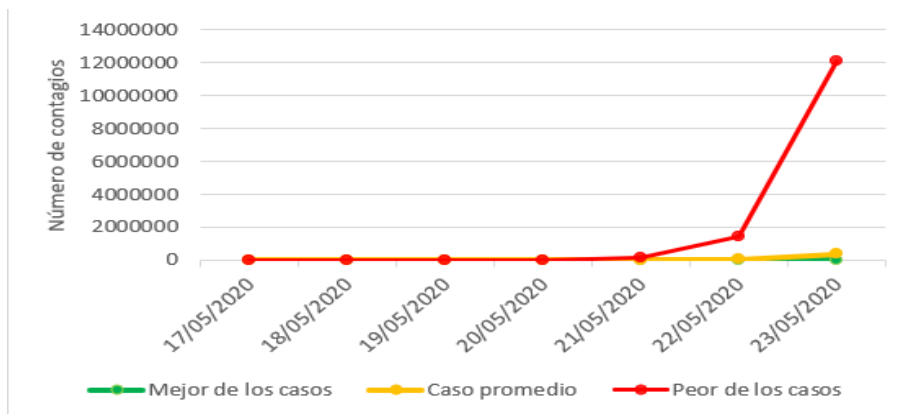
Tabla 10 Resultados de la tercera prueba.

Iteración - Día	Mejor de los casos		Caso promedio		Peor de los casos	
	Población	Contagios	Población	Contagios	Población	Contagios
Contagio inicial – Día 0	20	3	20	3	20	3
Iteración1 – 17/05/2020	30	3	30	17	30	28
Iteración2 – 18/05/2020	30	4	170	85	280	245
Iteración3 – 19/05/2020	40	8	850	441	2450	2102
Iteración4 – 20/05/2020	80	11	4410	2345	21020	18180
Iteración5 – 21/05/2020	110	20	23450	12585	181800	157237
Iteración6 – 22/05/2020	200	36	125850	67540	1572370	1359927
Iteración7 – 23/05/2020	360	58	675400	362467	13599270	11761871
Total		143		445438		13299593

Fuente: Elaboración propia.

En gráfica de la figura 7, se puede observar el comportamiento que toman los resultados que para los diferentes casos son muy similares, sin embargo, el cambio se percibe claramente en el número de contagios porque ha aumentado conforme pasaron los días.

También se aprecia que, en el peor de los casos en el quinto día, los contagios crecieron, sin embargo, para el sexto día el crecimiento de la curva es mucho más notable ya que el aumento fue exponencial. Para la curva del mejor de los casos, la curva es casi paralela al eje x. Para el caso promedio, se nota el aumento e incremento de los contagios.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7 Crecimiento de contagios para la prueba 3.

Situación actual: abril 2020

Los datos obtenidos para la simulación que se expone en este apartado cambiaron considerablemente debido a la actualización de contagios para el 30 de abril de 2020, lo cual se observa en tabla 11 a 14. De esta forma se puede observar el drástico incremento y consecuentemente, un número de contagios mayor en el simulador. La manera de interpretar tanto la tabla 15 como la figura 7 es la misma que en los escenarios para los datos 2020. Si es necesario cambiar los porcentajes para cada una de las afecciones, se debe ingresar en el simulador las nuevas cifras para que el cálculo de los casos positivos sea posible. Por ejemplo, haciendo modificaciones de manera aleatoria sin seguir ninguna fuente de datos los porcentajes para cada enfermedad y caso serían las siguientes tablas 16 y 17.

Tabla 11 Grupos de edad vulnerables. (30 de Abril de 2020).

Etapa	Inicio (años)	Final (años)	Total de sospechosos	Infectados	Porcentaje Infectados*100/Total de sospechosos.
Infancia	0	12	37057	4849	13.1
Adolescencia	13	19	32580	6379	19.6
Juventud	20	25	91361	21090	23.1
Adulthood	26	59	733041	243119	33.2
3ra edad	60+		154517	68473	44.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Grupos vulnerables por enfermedad.

Enfermedad	Total de sospechosos	Infectados	Porcentaje Infectados*100/Total de sospechosos
Renal crónica	18470	7135	38.6
Cardiovascular	20186	7599	37.6
Tabaquismo	84333	25300	30.0
Diabetes	122149	55527	45.5
Asma	31109	9281	29.8
Hipertensión	159547	68504	42.9
Obesidad	154905	65075	42.0
Inmunosupresión	13792	4310	31.3
EPOC	14766	5580	37.8
Embarazo	343911	2360	0.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Porcentajes para tres casos y factores de riesgo asociados.

Escenario	Factor	Porcentajes tomados de la tabla 1 y 2
Peor de los casos	Embarazo	0.7
	Infancia	13.1
	Adolescencia	19.6
	Juventud	23.1
	Inmunosupresión	31.3
Caso promedio	Asma	29.8
	Cardiovascular	37.6
	Tabaquismo	30.0
	EPOC	37.8
	Renal crónica	38.6
Mejor de los casos	Adulthood	33.2
	Hipertensión	42.9
	Obesidad	42.0
	3ra edad	44.3
	Diabetes	45.5

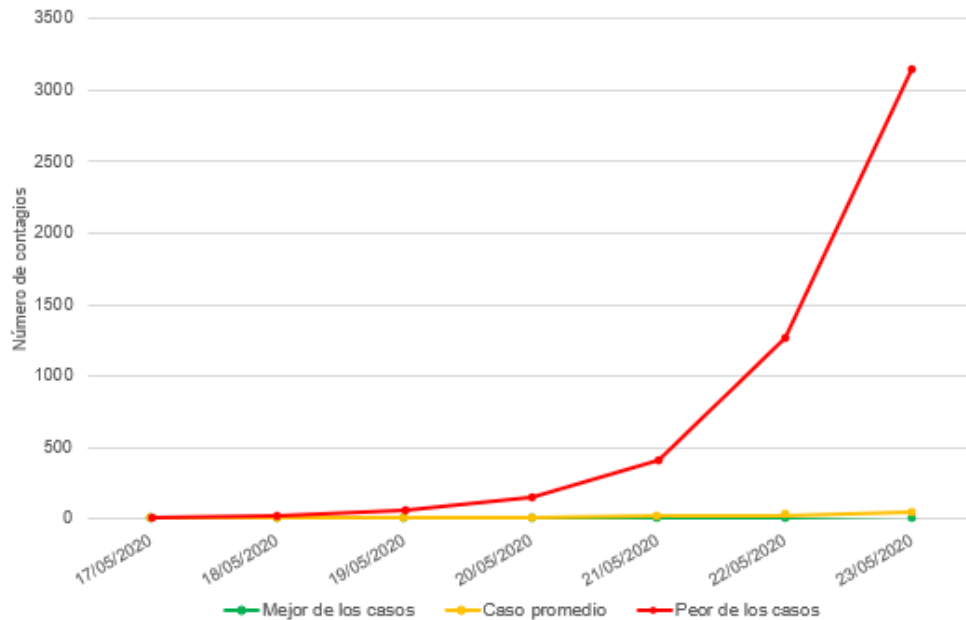
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Promedio para mejor caso, caso promedio y peor caso.

Peor de los casos	Caso Promedio	Mejor de los casos
17.6	34.8	41.58

Tabla 15 Resultados con datos del 30 de abril de 2020.

Iteración - Día	Mejor de los casos		Caso promedio		Peor de los casos	
	Población	Contagios	Población	Contagios	Población	Contagios
Contagio inicial – Día 0	20	3	20	3	20	3
Iteración1 – 17/05/2020	9	4	9	5	9	9
Iteración2 – 18/05/2020	12	2	15	6	27	23
Iteración3 – 19/05/2020	6	1	18	8	69	62
Iteración4 – 20/05/2020	3	2	24	12	186	156
Iteración5 – 21/05/2020	6	2	36	22	468	417
Iteración6 – 22/05/2020	6	2	66	27	1251	1267
Iteración7 – 23/05/2020	6	1	81	46	3801	3150
Total		17		129		5,087



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7 Crecimiento de contagios para prueba con porcentajes del día 30/abril/2020.

Tabla 16 Porcentajes para tres casos y factores de riesgo asociados (valores asignados).

Escenario	Factor	Porcentajes tomados de la tabla 1 y 2
Peor de los casos	Infancia	0.7
	cardiovascular	13.5
	adulthood	18.7
	Renal crónica	24.1
	EPOC	27.8
Caso promedio	Juventud	30.1
	Embarazo	31.2
	Adolescencia	32.5
	Obesidad	36.6
	Hipertensión	37.5
Mejor de los casos	diabetes	38.3
	tabaquismo	41.3
	3ra edad	41.0
	asma	42.3
	Inmunosupresión	43.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Promedio para mejor caso, caso promedio y peor caso.

Peor de los casos	Caso Promedio	Mejor de los casos
17.0	33.6	41.2

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

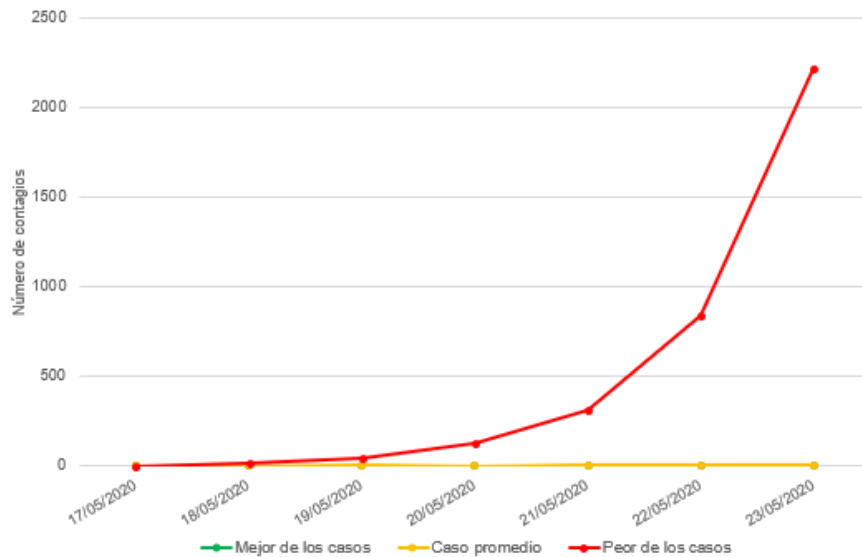
El programa desarrollado presenta una simulación para entender la magnitud de contagio del SARCoV2. El simulador es muy útil para crear escenarios sobre la pandemia del 2020. Con la información de datos abiertos, este simulador fue capaz de crear un valor de contagio de 13 299 593 como pronóstico en junio, el cual se veía un valor exagerado pero que se superó, ver tabla 18 y figura 7. Los contagios aumentaron por no respetar las reglas básicas.

En México, por las medidas relajadas del gobierno, México tenía al 30 de junio era 226 mil 89 contagios y 27 mil 769 muertes por Covid19 a esta fecha del 8 de diciembre de 2020, es de 1,193, 255 casos confirmados. En este trabajo se asignaron probabilidades de un solo factor, elegido por el usuario, sin embargo, hay muchas personas que cumplen con más de un factor por lo que su valor de probabilidad de contagio es mucho mayor.

Tabla 18 Resultados con datos del 30 de abril de 2020 (datos modificados)

Iteración - Día	Mejor de los casos		Caso promedio		Peor de los casos	
	Población	Contagios	Población	Contagios	Población	Contagios
Contagio inicial – Día 0	20	3	20	3	20	3
Iteración1 – 17/05/2020	9	1	9	3	9	19
Iteración2 – 18/05/2020	3	1	9	5	57	47
Iteración3 – 19/05/2020	3	1	15	3	141	128
Iteración4 – 20/05/2020	3	1	9	7	384	317
Iteración5 – 21/05/2020	3	1	21	8	951	843
Iteración6 – 22/05/2020	3	1	24	6	2529	2223
Iteración7 – 23/05/2020	3	1	18	6	6669	5799
Total		10		41		9379

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Crecimiento de contagios para la prueba con porcentajes modificados.

En este simulador los autores definieron el número de interacción con valores pequeños debido a la falta de recursos computacionales. Para el caso de estudio de la central de abastos que motivó a este trabajo, la primer persona infectada aparentemente mantuvo contacto con más de 3 personas y sucedió cuando aún

muchas personas seguían sin tomar las medidas necesarias y, asumiendo que la enfermedad tarda 14 días en ser descubierta, era complicado hallar a los posibles contagiados y aislarlos, por tanto, el simulador descrito en este artículo ayuda a crear escenarios diferentes de contagios a partir de casos Covid-19 confirmados. Finalmente, el simulador después de su evaluación general de mayo a diciembre tiene una eficiencia en sus escenarios del 95% siendo la cifra actual en el mundo de más de 68.2 M de casos confirmados. Por lo cual se insiste en la urgencia de mantener la distancia indicada entre cada persona, así como cumplir el uso de mascarilla y el lavado de manos a pesar de que ya existen las vacunas.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Siettos, C. (2020). Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. *PLoS ONE*, 15(3): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405>.
- [2] Gobierno de México. Información Referente a Casos de COVID-19 En México. (2020, marzo 19): <https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-referente-a-casos-Covid-19-en-mexico>.
- [3] Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., Xiao, Y., ... Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet (London, England)*, 395(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- [4] Ivorra, B., Ferrández, M. R., Vela-Pérez, M., & Ramos, A. M. (2020). Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China. *Communications in nonlinear science & numerical simulation*, 88, 105303. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105303>
- [5] Medina, J. (2020). Pandemia por SARS-CoV-2 (COVID-19): entre la incertidumbre y la fortaleza. *Revista Médica del Uruguay*, 36(2), 6-11. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902020000200006&lng=es&tlng=es.

- [6] Millán, O. J., Rodríguez, M. A., Camacho, M. G., Mendoza, R. H., Rodríguez, S. I. A., & Álvarez, M. C. (2020). A new emerging zoonotic virus of concern: the 2019 novel Coronavirus (SARS CoV-2). *Infectio*, 24(3), 187-192. <https://dx.doi.org/10.22354/in.v24i3.848>
- [7] Patel, A., Jernigan, D.B. (2020). Initial Public Health Response and Interim Clinical Guidance for the 2019 Novel Coronavirus Outbreak — United States, December 31, 2019–February 4, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2020; 69:140–146. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6905e1>
- [8] Rodríguez-Morales, A.J, Sánchez-Duque, J.A, Hernández-Botero, S., Pérez-Díaz, C.E., Villamil-Gómez, W.E., Méndez, C.A., Verbanaz, S., Cimerman, S., Rodríguez-Enciso, H.D., Escalera-Antezana, J.P., Balbin, G.J., Arteaga-Livias, K., Cvetkovic-Vega, A., Orduna, T., Savio-Larrea, E., Paniz-Mondolfi, A. Preparación y control de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina. *Acta Med Peru* (2020).37(1):3. <https://amp.cmp.org.pe/index.php/AMP/article/view/909>.
- [9] Rothan, H. A., & Byrareddy, S. N. (2020). The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *Journal of autoimmunity*, 109, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>
- [10] Secretaria de Salud (SS). Plataforma para la Red Nacional de Laboratorios de Salud Pública. Gobierno de México. (2020, marzo 19) <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/plataforma-para-la-red-nacional-de-laboratorios-de-salud-publica>
- [11] Wang, C., Horby, P. W., Hayden, F. G., & Gao, G. F. (2020). A novel coronavirus outbreak of global health concern. *Lancet* (London, England), 395(10223), 470–473. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30185-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30185-9)
- [12] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) outbreak. Geneva: WHO, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>