



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

**Campus Irapuato – Salamanca
División de Ingenierías
Departamento de Arte y Empresa**

**“Comparación de variables a través del
análisis de modelos matemáticos de
propagación utilizando: SIR, SIAR, EDP Y
regresiones lineales estadísticas para predecir
cierre de empresas.”**

TESIS

**Que para obtener el título de:
Licenciado en Gestión Empresarial**

**PRESENTA:
*Yareli Vianey Bravo Cuevas***

**Director:
Dr. Marco Antonio Sánchez Jiménez**

Salamanca, Guanajuato.

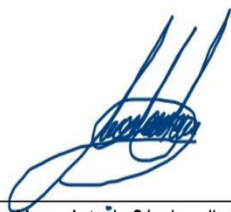
Enero 2024

Salamanca, Gto., a 09 de Enero del 2024.

M. en I. HERIBERTO GUTIÉRREZ MARTIN
COORDINADOR DE ASUNTOS ESCOLARES
PRESENTE.-

Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empastado de tesis y titulación al alumno(a) Yareli Vianey Bravo Cuevas del Programa de Licenciatura en Gestión Empresarial y cuyo número de NUA es: 391721 del cual soy director. El título de la tesis es: Comparación de variables a través del análisis de modelos matemáticos de propagación utilizando: SIR, SIAR, EDP y regresiones lineales estadísticas para predecir cierre de empresas.

Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.



Dr. Marco Antonio Sánchez Jiménez
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO

ATENTAMENTE



Dr. Marco Antonio Sánchez Jiménez
DIRECTOR DE TESIS



Mtro. Juan Manuel Rodríguez García
PRESIDENTE



Mtra. María Catalina Rangel León
VOCAL

DEDICATORIAS

Dedicó esta tesis con todo mi corazón y mi amor

A Yareli chiquita, te prometí que un día a pesar de todos los obstáculos y problemas que surgieran en el camino seríamos unas grandes profesionistas, valió la pena todo tu esfuerzo, tus desveladas y tus ganas de salir adelante, gracias por nunca darte por vencida y por seguir de pie. Lo lograste.

A mis papás, Rosendo Bravo Lujano y Luz Araceli Cuevas Bautista, por siempre apoyarme, por estar conmigo alentándome para hacer cosas nuevas, por cuidarme y sobre todo por darme tantas oportunidades. Cuando me vean volar, recuerden que ustedes crearon mis alas, Muchas gracias, los amo.

A mis hermanas, Ana Karen Bravo Cuevas y Daniela Araceli Bravo Cuevas, por estar conmigo en cada momento, bueno o malo, por siempre recordarme lo importante de la vida y por su amor incondicional.

A mi novio, Isaías Olmarez García, por alentarme, por no dejarme sola, por siempre darme ese impulso para seguir y no darme por vencida, y por apoyarme en cada oportunidad que se me ha presentado. Gracias por siempre estar para mí. Este triunfo también es tuyo. Te amo.

A mis abuelitos, Leonor Bautista Ramírez, José Cuevas Razo (†), María Carmen Lujano Mosqueda y Rosendo Bravo Bravo (†) por cuidarme, por siempre estar para mí en toda mi infancia, por cada día alentarme y celebrar mis logros como si fueran suyos. Gracias.

A mis tíos, Laura, Juan Carlos, Humberto, Cristina, Ismael, Martín (†), Gerardo, Pepe, Mayra, Lupita y Luis por darme tanto apoyo, tanto amor e incentivarme a alcanzar cada meta que me propongo.

A mis suegros, Mario Olmarez Hernández y San Juana García Montenegro por abrirme las puertas de su casa, tratarme como una hija y celebrar mis triunfos y derrotas.

Y por último a mis mascotas, Lil poppy, Motita, Negrita y Yoshimar, por acompañarme en cada desvelada y aligerar mis días de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a la Universidad de Guanajuato, por permitirme ser una abeja de la colmena legendaria, por brindarme tantas oportunidades para crecer y fortalecer mi conocimiento. Somos Abejas UG.

A mis papás, Rosendo Bravo Lujano y Luz Araceli Cuevas Bautista, por esforzarse día a día para poder apoyarme en cada oportunidad que se me presento y estar conmigo en todo momento, siempre dándome palabras de aliento.

A mi asesor, Dr. Marco Antonio Sánchez Jiménez, por darme la oportunidad de trabajar con él, por tenerme tanta paciencia, apoyarme, resolver mis dudas y alentarme a no darme por vencida.

Al Mtro. Juan Manuel Rodríguez García, por el apoyo incondicional que me ha brindado durante toda mi licenciatura, por confiar en mí y mi potencial, y por ser más que un maestro, un gran amigo.

A mi novio, Isaías Olmarez García, por darme ánimos cada vez que quería darme por vencida, por recordarme que puedo lograr cualquier cosa que me propongan y por estar a mi lado en las buenas y las malas.

INDICE

DEDICATORIAS.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
INDICE.....	4
INDICE DE TABLAS.....	5
Introducción.....	6
Capítulo I	7
Marco Teórico.....	7
1.1 Antecedentes.....	8
1.2. Modelo de Susceptible de población Infectada y Recuperada (SIR).....	12
1.2.1 Ecuaciones Diferenciales del Modelo SIR	13
1.3 Modelo de Sistema Integral de Administración de Riesgos (SIAR).....	20
1.4 Modelo de Ecuaciones Diferenciales Parciales.....	22
1.5 Otros Modelos de Transmisión de Enfermedades Infecciosas.	23
Capítulo II	27
Método	27
2.1 Características generales de la investigación	28
2.2 Hipótesis de la investigación	28
2.3 Selección de Variables.....	28
2.4 Definición de variables	32
Capítulo III.....	44
Resultados	44
3.1 Agrupación de variables encontradas y sujetas a análisis.....	45
Capítulo IV.....	49
Análisis.....	49
4.1 Principales dificultades.....	50
4.1 Análisis de la relación del cierre las empresas con las variables del modelo matemático.....	51
Capítulo V.....	53
Conclusiones.....	53
5.1 ¿Qué aporta la investigación?.....	54
5.2 Limitaciones de la investigación	55

5.3 Rumbo a seguir para futuros estudios	56
Referencias	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de variables, ordenadas de mayor a menor impacto.....	45
Tabla 2. Variables de mayor impacto.....	51

Introducción

La pandemia de SARS-CoV-2/COVID-19 fue un evento que surgió de manera inesperada para la población del mundo, al ser un tema o evento nuevo trajo consigo muchas preguntas y dudas sobre las consecuencias que esta podría traer.

En México se cuenta con un amplio sector empresarial, ya que existen Micro, Pequeñas y Medianas empresas también conocidas como MiPyMEs. Así como grandes empresas que son de talla mundial, pero esto no impidió que también fueran afectadas por la pandemia, desde sus empleados, sus formas de operar y también su forma de brindar servicios o bienes.

La presente investigación tiene como objetivo principal el corroborar la hipótesis planteada, de tal manera que exista una evidencia fundamentada de la relación que podría existir entre los modelos de propagación de pandemia y el cierre de las empresas en México.

Por lo anterior, surgió la necesidad de investigar los motivos del cierre de las empresas durante la pandemia, para ellos surgieron varios estudios en apoyo, cada uno de ellos mencionaba modelos de propagación de pandemia y algunas variables que estaban afectado a la población.

Se realizó una comprobación de manera cualitativa para la hipótesis de la presente investigación, como resultado se estuvieron un numero considerable de variables a analizar para el objetivo principal de la investigación.

Capítulo I

Marco Teórico

1.1 Antecedentes

Durante los últimos tiempos, diversas epidemias han afectado a la humanidad, como lo fueron la viruela, peste, colera, tifus, VIH, peste negra, sarampión, tuberculosis, Influenza A H1N1, etc.

La pandemia de SARS-CoV-2/COVID-19 que es un tema a nivel mundial que afecto a todos los sectores y giros de las empresas, tuvo su inicio en México en marzo del 2020; inicio como un tema de poco interés debido a la poca existencia de información acerca del tema; conforme fue avanzando el tiempo, poco a poco la información iba creciendo y distribuyéndose de una manera muy rápida, debido a los medios de comunicación masivos que existen.

Según Casazola Cruz et al., (2021) mencionan la importancia de la modelación de epidemias ya que se utiliza como herramienta para el estudio de las enfermedades emergentes, y esto a su vez permite conocer el comportamiento y evolución de estas mismas. Además, sus dos objetivos principales son: (1) Predicción del fenómeno y (2) comprensión del fenómeno.

Las organizaciones y empresas fueron uno de los grupos más afectados por dicha pandemia y con ellos el empleo de los trabajadores, según Weller, J. (2020) citando a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] los sectores con mayor afectación fueron el restaurantero, hotelero y manufacturero, por otro lado, el sector agropecuario se encontrará afectado solo de manera temporal.

Dicha pandemia ha tenido efectos negativos no solo para la salud de las personas sino también para las empresas, como ya se mencionó anteriormente, es por ello por lo que según el Banco Mundial [BM] (2021):

- El 72% de las ventas de las empresas disminuyeron.
- El 11% de los trabajadores perdieron su empleo, con ello las empresas perdieron capital humano indispensable.
- Ante la falta de digitalización por parte de las empresas, solo el 17% de estas pudo invertir en nuevos equipos, soluciones digitales o programas informáticos.

Según el estudio de Préstamo Gil et al., (2021) en el país de Costa Rica, los efectos que ocasiono la Pandemia de COVID-19 en el sector empresarial se englobaron en tres principales áreas: (1) Desaceleración de las actividades económicas, que generó un cambio en el modelo de gasto, el consumo prioritario y las restricciones sanitarias; (2) disminución en los ingresos, que generó el cierre de las empresas y la suspensión de los contratos de trabajo, a su vez afectando el ingreso per cápita y familiar y (3) Fondo Monetario Internacional de créditos; en el cual priorizo sectores para apoyar y poder reducir la disminución del ingreso familiar.

Dentro de las tendencias que marca el mercado laboral, según Weller, J. (2020) citando a Global Commission on the Future of Work (2019) durante la pandemia se tuvo un impacto considerable en las siguientes: (1) Las perspectivas de una fuerte destrucción, (2) transformación y creación de empleos y (3) amenaza de una creciente desigualdad en el mercado laboral, en

conjunto todas ellas fueron influenciadas por la digitalización que es un factor importante que se desarrolló de una manera enorme durante los meses de confinamiento de dicha pandemia.

Durante esta pandemia se observa la importancia de conocer el nivel de propagación de este virus, al conocer este y otras variables importantes se pueden prevenir el cierre de las empresas, ya que según Weller, J. (2020) dicho cierre no solo afectaría a la unión y esfuerzo que realizan las empresas para la obtención de un bien común sino también se eliminaría de manera definitiva una cierta cantidad de empleos que son la fuente económica de familias, esto a su vez bajaría la productividad; además se conocerá como se ha dado la propagación dentro de esta y que medidas se pueden adoptar dentro de las organizaciones o empresas.

En el contexto de México se adoptaron medidas de emergencia para poder equilibrar la crisis de la pandemia, según Altamirano Freire et al., (2020) se tomaron las siguientes medidas: (1) Descartar el cierre de aeropuertos para intentar evitar el cierre de la economía que perjudique a la población y (2) el presupuesto de gobierno sufrió un ajuste y se ampliaron los programas de gasto social como el apoyo a personas mayores de edad.

Para conocer lo antes mencionado se utilizan modelos matemáticos, que son herramientas esenciales para poder conocer las variables deseadas, además, según Montesinos y Hernández (2007) la importancia de los modelos matemáticos en el ámbito de enfermedades infecciosas son: a) Estos modelos revelan algunas relaciones que en un inicio no se observan, b) se pueden

obtener elementos y características de las relaciones entre estos, c) con ayuda de estos modelos se sustituyen las practicas experimentales costosas que no pueden pagarse y d) brinda la oportunidad de comprender la dispersión de las enfermedades del tipo infecciosas.

Derivando (2020) citando al Comité Español de Matemáticas [CEMat] (2020) menciona como el uso de las matemáticas, ecuaciones, etc., en el contexto de la pandemia ha logrado obtener datos importantes como: (1) Evolución y propagación de esta, (2) efectos de la pandemia, (3) predicciones de contagios, ingresos hospitalarios y muertes, (4) estimación temporal de cuánto tiempo deben durar los síntomas, (5) reparto de bienes dentro de los hospitales, (6) optimización de recursos para tener un mejor reparto y (7) modelos matemáticos para crear simulaciones de la enfermedad. Además, Grillo et al., (2020) indican que los modelos matemáticos se convierten en un instrumento útil para poder abordar problemas de salud, así como la construcción de modelos matemáticos basados en patrones epidemiológicos han permitido describir las interacciones, la dinámica de contagio-recuperación y predecir futuros y posibles escenarios; así como también poder tomar decisiones objetivas para poder tener el control y terminación de la enfermedad infecciosa e implementar programas tanto privados como públicos para prevenir complicaciones futuras a causa de la propagación del virus.

A continuación, se presentan algunos de los modelos matemáticos que se han utilizado en el presente trabajo:

1.2. Modelo de Susceptible de población Infectada y Recuperada (SIR)

Según Math2me (2020) citando a Ponce Campuzano (2020), el Modelo SIR [S (población susceptible), I (población infectada) y R (población recuperada)] es un modelo matemático que nos permite predecir el comportamiento de una enfermedad infecciosas, a partir de ciertas condiciones iniciales.

Este modelo se divide en tres grupos distintos:

- **Susceptible:** número de personas que son propensas a la enfermedad.
- **Infectado:** número de personas que tienen la enfermedad y que pueden infectar a la gente susceptible
- **Recuperado:** número de personas que no pueden contraer la enfermedad, porque se han recuperado completamente, o porque son inmunes.

Dentro de este modelo se utilizan dos parámetros principales para este modelo:

- Tasa de Transmisión (a): Describe que tan rápido se transmite la infección de un individuo a otro.
- Tasa de Recuperación (b): Describe que tan rápido un individuo infectado se recupera.

Casazola et al., (2021) citando a Cabo Bizet, Peso, Pino Romero y Vergara Moreno (2020) menciona que este modelo permite simular como es la

transmisión de una enfermedad infecciosa presente en la población a través de hipótesis simples y realistas en base a la transmisión. Además, gracias al largo tiempo sé que lleva usando este modelo se pueden agregar nuevos procesos y características, quizá no de manera matemática debido a su complejidad.

En un estudio realizado en Cuba por Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo básico de Kermack y McKendrick, cuyo objetivo es aplicar el modelo SIR para poder conocer el impacto del COVID 19 en La Habana, Cuba, en dicho estudio se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) \quad 1)$$

Donde: N es la población total, es la suma de los susceptibles (S), infectados (I) y recuperados (R).

De esta principal ecuación se desprende el siguiente modelo de ecuaciones diferenciales.

1.2.1 Ecuaciones Diferenciales del Modelo SIR

$$d/dt S(t) = -\beta S(t)I(t) \quad 2)$$

Donde d/dt es la derivada respecto del tiempo y β es la tasa de contagio de la enfermedad, por lo tanto, $d/dt S(t)$ tomar valores negativos siempre ya que $S(t)$ y $I(t)$ son cantidades positivas.

$$d/dt I(t) = \beta S(t)I(t) - \nu I(t) \quad 3)$$

Donde $d/dt I(t)$ es la incidencia (casos nuevos de la enfermedad por unidad de tiempo) y ν es el inverso de la recuperación que para el COVID son 14 días.

$$d/dt R(t) = \nu I(t) \quad 4)$$

En esta ecuación cuando se denota R_0 , también conocido como número reproductivo básico, se obtiene la siguiente ecuación:

$$R_0 = \beta/\nu N \quad 5)$$

Donde R_0 es el número promedio de infecciones secundarias producidas por un individuo y β tasa de contagio y ν es el inverso de la recuperación que para el COVID son 14 días.

Cuando la epidemia empieza a decrecer, se expresa de la siguiente manera, matemáticamente.

Conforme avanza el tiempo epidémico, se puede calcular el número reproductivo efectivo con la siguiente ecuación:

$$Re = \beta/\nu S(t) \quad 6)$$

Esta ecuación se utiliza cuando la epidemia empieza a decrecer ya que $Re < 1$ indica el decrecimiento de la epidemia por ser un indicador epidemiológico.

Por otro lado, en un estudio realizado en Colombia por Grillo Ardilla et al., (2020) en dicho estudio se utilizaron las siguientes variables y ecuaciones:

(1) (β) Tasas de infección, son el porcentaje de infectados entre los expuestos.

(2) (γ) Recuperación, es el porcentaje de recuperados entre los infectados.

(3) (CFR) Tasa de letalidad, el porcentaje de muertes entre los contagiados.

Dentro del estudio se consideran dos parámetros importantes para determinar al inicio de las pandemias:

(4) Tasa de ataque secundario, es la probabilidad de ocurrencia de una infección por el virus SARS-CoV-2 entre la población susceptibles que tuvieron un contacto con el caso inicial.

Dicha variable se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ataque secundario} = \frac{\text{Número de personas expuestas que terminan infectadas}}{\text{Número de personas susceptibles expuestas}} \quad 7)$$

(5) R_0 número reproductivo básico, este se refiere al número de personas infectadas a partir de un caso en una población completamente susceptible. También nos indica como y la rapidez con la que el virus se mueve.

Se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$R_0 = \frac{\beta (\text{Tasa de infección})}{\gamma (\text{Tasa de recuperación})} \quad 8)$$

(6) R_t número reproductivo efectivo o el número de infecciones causadas por cual caso en un tiempo t , se utiliza para analizar la evolución del potencial de transmisión de un periodo determinado en modelos matemáticos. Esta variable tiene la influencia de la duración del contagio, la probabilidad de infección entre contactos y por factores económicos, sociales y ambientales.

(7) CFR tasa de letalidad, indica la probabilidad que tiene una persona de fallecer una ocasión infectada por el virus, esta variable se ve afectada por factores como la calidad de la atención médica, la presencia de personal especializado, unidades de cuidado intensivo, respiradores, etc.

Otro estudio llevado a cabo por Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) el modelo tiene 3 variables que dependen del tiempo; S(t), número de susceptibles, I(t), número de afectados y R(t), número de recuperados. De estas variables se desprenden las siguientes ecuaciones

$$N = S(t) + I(t) + R(t) \quad 9)$$

Donde N es el número total que conforma la población. A esta ecuación se le agregan los siguientes parámetros: α , índice de transmisión y b, índice de recuperación.

La dinámica del modelo se desarrolla según el rigen del sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias siguiente:

$$S'(t) = -\frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) \quad 10)$$

$$I'(t) = \frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) - b \cdot I(t) \quad 11)$$

$$R'(t) = b \cdot I(t) \quad 12)$$

El signo (') indica las respectivas derivadas de las variables respecto al tiempo, respecto a esto se desprenden las siguientes ecuaciones del sistema:

$$S'(t) = -\alpha \cdot S(t) \cdot I(t) / N, \quad 13)$$

En esta ecuación se puede observar la Ley de acción de masas ya que establece que la variación del número de susceptibles con el tiempo va a depender del número de contactos entre susceptibles, infectados e índice de transmisión.

$$I'(t) = \alpha \cdot S(t) \cdot I(t) / N - b \cdot I(t), \quad 14)$$

Donde la diferencia entre los nuevos infectados y los infectados recuperados es la variación de individuos afectados

El mismo autor, Fresnadillo Martínez et al., (2013) cita a Hethcote (1976) para el mismo modelo, pero existe una diferencia, en este modelo se agrega la tasa de mortalidad, con la siguiente nominación μ y se define por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$S'(t) = \mu \cdot N - \mu \cdot S(t) - \frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) \quad 15)$$

$$I'(t) = -\mu \cdot I(t) + \frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) - b \cdot I(t) \quad 16)$$

$$R'(t) = -\mu \cdot R(t) + b \cdot I(t) \quad 17)$$

De igual manera, Fresnadillo Martínez et al., (2013) citan a Dieckmann y Heesterbeek (2000) para este modelo se hacer una mejora al anterior ya que se pone en “suposición” que la población no se mantiene constante, esta va variando a lo largo del tiempo, para esto se introduce un nuevo parámetro que se denomina tasa de nacimiento “ c ”, este parámetro se considera mayor a la tasa de mortalidad.

Con base a lo anterior el sistema de ecuaciones diferenciales se muestra de la siguiente manera:

$$S'(t) = c \cdot S(t) + c \cdot R(t) - \mu \cdot S(t) - \frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) \quad 18)$$

$$I'(t) = -\mu \cdot I(t) + \frac{\alpha}{N} \cdot S(t) \cdot I(t) - b \cdot I(t) \quad 19)$$

$$R'(t) = -\mu \cdot R(t) + p \cdot b \cdot I(t), \quad 20)$$

En esta última ecuación se agrega el parámetro “ p ” ya que, si un individuo se recupera, este obtiene inmunidad de manera temporal que se representa con “ p ”.

Otro autor que analiza el mismo modelo es Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick, en dicho estudio se presentan las siguientes variables: N , población total, $S(t)$, Susceptibles, $I(t)$, Infectados y $R(t)$, Recuperados.

Dadas estas variables se desprende la primera ecuación:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) \quad 21)$$

Tomando como base esta primera ecuación se agregan las siguientes variables:

$\beta S(t) I(t)$, tasa de infección que determinar el número por unidad de tiempo en que se transfieren de susceptibles a infecciosos dependiendo del número de contactos per cápita, μ de un individuo susceptible y de la proporción “ τ ”. también se agrega γ , tasa de recuperación o muerte.

En base a lo anterior se desarrolla la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I, \quad I^0 = I_0, \quad 22)$$

Esta ecuación explica el cambio que existe en el número de individuos que pertenecen al comportamiento Infeccioso y donde I_0 , es el numero inicial de individuos Infectados en la población.

Dada la ecuación anterior, una vez que aumentan los primeros casos de contagio y son introducidos a la población que cuenta solamente con individuos sanos y susceptibles.

Tomando en cuenta la condición que se genera para que $\frac{dI}{dt} > 0$, el modelo se expresa de la siguiente manera:

$$S' = -\beta SI, \quad I' = \beta SI - \gamma I, \quad R' = \gamma I \quad (23)$$

En dicha ecuación existen dos constantes que son: β , la tasa de infección e γ , la tasa de recuperación.

Para concluir este estudio, se presenta la última ecuación clave que refleja: unidad de tiempo y número de casos.

$$I_{(t+1)} = I_{(t)} + \beta SI - \gamma I, \quad (24)$$

Donde el total de infectados en tiempo más uno, es igual a infectados en tiempo más nuevos casos menos nuevos curados.

Continuaremos con el siguiente autor Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f), el objetivo de dicho estudio fue determinar el ritmo con el que se expande un virus en una población. Las variables que existen dentro de este estudio son: N , población total, S , Susceptibles, I , Infectados, R , removidos.

Con estas variables se desarrolla la siguiente ecuación:

$$x(t) + y(t) + z(t) = n, \quad (25)$$

Donde $x(t)$ es la cantidad de susceptibles, $y(t)$ es la cantidad de infectados y $z(t)$ la cantidad de removidos, en este caso para cualquiera de las variables $t > 0$.

Este modelo cuenta con un sistema de ecuaciones diferenciales determinísticas, en donde se agrega la variable β , que es la tasa de infección o el ritmo en el que los susceptibles se vuelven infectados, también se cuenta con γ , que es la tasa en la que los infectados se recuperan, o bien fallecen. En base a esto se desprenden las siguientes tres ecuaciones:

$$dx(t) = -\beta x(t)y(t)dt, \quad x(0) = x_0 \quad 26)$$

$$dy(t) = \beta x(t)y(t) - \gamma y(t)dt \quad y(0) = y_0, \quad 27)$$

En esta segunda ecuación la tasa instantánea de cambio de infectados depende de la cantidad que resulte de la operación: infectados menos los que se recuperan o fallezcan.

$$dz(t) = \gamma y(t)dt \quad z(0) = 0, \quad 28)$$

Es esta tercera ecuación se muestra el principio de crecimiento exponencial, conociendo previamente los Infectados.

1.3 Modelo de Sistema Integral de Administración de Riesgos (SIAR)

Según Quizanga Cajas (2015) citando a Kit. Ingeniería Electrónica (2014) el Sistema Integral de Administración de Riesgos (SIAR) es el proceso a través del cual la dirección de una organización o empresa puede administrar los riesgos a los cuales esta se encuentra expuesta en base al nivel de riesgo al cual se exponen según sus objetivos estratégicos.

Por otra parte, según Angulo Cadena (s.f.) el sistema antes mencionado tiene como objetivos:

- Determinar y comunicar claramente los objetivos del SIAR, tendientes a dar estabilidad a los resultados financieros de la entidad y por lo tanto a aumentar su valor económico y social en el largo plazo.
- Establecer un entorno que estimule y promueva la práctica de principios y reglas de conducta para la gestión de los riesgos en todas las áreas de la entidad.
- Implementar políticas de capacitación, entrenamiento y permanente actualización de los temas relacionados con la gestión de riesgos, a todos los niveles de la entidad, acorde con las estrategias adoptadas para el desarrollo de su objeto social
- Generar una cultura de manejo de los riesgos, en la cual la anticipación de comportamientos macroeconómicos, de mercados y variables financieras críticas este presente.

Como antecedente, según Torrente Castro (2021) realizó un Sistema Integral de Administración de Riesgos que se utilizó para ser implementado en las organizaciones de producción agropecuaria; esto permitió: (1) Desarrollo del diagnóstico empresarial, (2) identificación y evaluación de riesgos, (3) creación de indicadores de gestión de riesgos y (4) creación de una Política Administrativa de riesgos (sistema de tratamiento y manejo de riesgos empresariales)

1.4 Modelo de Ecuaciones Diferenciales Parciales

Las Ecuaciones Diferenciales Parciales, también conocidas como EDP, según Haberman, R. (2003) son expresiones matemáticas que tienen dentro de si derivadas parciales, por otra parte, Mijailov, V. (1982) en su libro explica que son aquellas cuyas incógnitas son funciones de una o varias variables.

Según Sixto et al., (2001) permiten la conexión entre las variables independientes, la función que se busca y las derivadas parciales.

Según Pino Romero et al., (2017) en el modelamiento mediante Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP), se deben considerar el Tiempo-Espacio, ya que gracias a este se puede describir la difusión de la pandemia, en su caso de la viruela, a través del contacto espacial durante el tiempo considerado, pero es posible que se pueda escalar a un modelo de pandemia como el COVID-19.

Según Préstamo Gil et al., (2021) citando a Casares (2013) recalca la importancia que tiene establecer esquemas efectivos y eficientes en la empresa, en los ámbitos de administración, gestión y control de riesgos, ya que existen sin fin de riesgos a los que se encuentran expuestos durante el desarrollo de su negocio ya que la administración de riesgos debe ser parte la estrategia de cada organización y de la toma de decisiones de esta; además, deben buscar estrategias que puedan cambiar la parte negativa que se presentó en el panorama. Por ello, la importancia de conocer cuales variables de las ecuaciones de propagación pueden afectar a las empresas y como prevenir estas.

Por otra parte, según Abello Ugalde et al., (2020) explican como la conjunción de modelos matemáticos aplicadas en los sistemas de salud robustos y políticas sanitarias, permite predecir como será el comportamiento epidémico y poder evaluar la eficacia de las políticas implementadas.

Dentro de las empresas existen riesgos en diversas áreas, como lo son: (1) operaciones, (2) finanzas y (3) modelos de negocio y que, según Muñoz Aparicio et al., (2020) citando a Pantaleón (2020) deben ser analizadas durante la pandemia para poder considerar oportunidades que puedan ser aprovechadas como lo pueden ser la innovación de nuevos procedimientos y crear planeaciones adecuadas de acuerdo con las circunstancias de los tiempos.

1.5 Otros Modelos de Transmisión de Enfermedades Infecciosas.

A continuación, se explican los siguientes Modelos de Propagación de Pandemia que han surgido durante estos años con el fin meramente de informar ya que dichos modelos no aplican para el objetivo principal de la investigación.

El Modelo SI (Susceptibles e Infectados) según Montesinos López y Hernández Suarez (2007) presenta un sistema de dos ecuaciones diferenciales, en este modelo se utilizan las siguientes variables dependientes Susceptibles (S), Número de personas infectadas (I), también se utilizan

variables aleatorias como los son Tasa (λ) que son los contactos por unidad de tiempo y tiempo (t).

Las ecuaciones diferenciales son las siguientes:

$$\frac{dS}{dt} = -\lambda I(t)S(t)/N \quad 29)$$

$$\frac{dI}{dt} = \lambda I(t)S(t)/N \quad 30)$$

En la provincia de Henan en China, los autores Yang et al. (2023) realizaron un estudio para poder predecir la propagación de la enfermedad que denominan como “HFMD” (Hand, Foot and Mouth Disease) que es una enfermedad infecciosa de carácter agudo y con la aparición del COVID-19 empeoro. El objetivo de dicho estudio fue predecir la propagación de la enfermedad antes menciona con el apoyo del algoritmo AutoML.

Como resultado de dicho estudio se obtuvo la siguiente ecuación con las siguientes variables:

$$Y_t = T_t + S_t + I_t \quad 31)$$

Donde Y, representa la población observada con relación al tiempo y, T, S, I, representan el valor de la tendencia, estacional y aleatoria, en relación con el tiempo.

Otro modelo desarrollado durante la pandemia, basándose en el Modelo SIR, es el denominado SEIQR (Susceptibles, Expuestas, Infectadas, Cuarentena y Recuperados), según Rahimi et al., (2021) basándose en su estudio enfocado en Australia, Italia y el Reino Unido para predecir la

epidemiología de la enfermedad conocida como COVID-19 utilizando el Modelo SEIQR, se obtuvo una precisión más significativa en la predicción de los modelos.

La diferencia este modelo en comparación con el SIR, son dos variables importantes: (1) E - Expuestos y (2) Q – Cuarentena. En base a esto, se desprenden las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \frac{S(t)I(t)}{N} - \alpha S(t) \quad 32)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta \frac{S(t)I(t)}{N} - \gamma E(t) \quad 33)$$

34)

$$\frac{dI(t)}{dt} = \gamma E(t) - \delta I(t) \quad 35)$$

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \delta I(t) - \lambda(t)Q(t) - k(t)Q(t) \quad 36)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t)Q(t) \quad 37)$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = k(t)Q(t) \quad 38)$$

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha S(t) \quad 39)$$

Donde α , representa la tasa de protección, β es la tasa de infección, γ es la tasa de recuperación, δ es la inversa del tiempo de cuarentena promedio, λ es un coeficiente utilizado en la tasa de curación, este depende del tiempo, k es un coeficiente utilizado en la tasa de mortalidad dependiendo del tiempo.

Por último, se analizó el Modelo conocido como SIARD (Susceptibles, Infectados reportados, Infectados no reportados, Recuperados con/sin

inmunidad total y Defunciones), en este nuevo modelo se agrega una nueva variable que en los otro no existe, la cual son las “defunciones”. Según Aziz Alaoui et al., (2021) en su caso de estudio realizaron una tabla comparativa entre las siguientes poblaciones de Nevada, USA, Hong Kong, Bélgica, Ecuador e India, donde se analizaron la fecha de infecciones de la población, así como la fecha de reinfección, utilizaron el siguiente modelo matemático basado en Kermack and McKendrick:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta I(1 - \alpha)SI - \beta A(1 - \alpha)^2 SA + \omega IR + \omega AR \quad 40)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta I(1 - \alpha)SI - (\gamma I + dI)I + \mu A \quad 41)$$

42)

$$\frac{dA}{dt} = \beta A(1 - \alpha)^2 SA - (\gamma A + dA)A - \mu A \quad 43)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma II + \gamma AA - \omega IR - \omega AR \quad 44)$$

Donde α es la tasa de población susceptible y asintomática, β es la tasa de contagio, ω es la tasa de normas de confinamiento, μ es la tasa de sintomáticos. Pero a este sistema se le agrega una última ecuación, que es la de defunciones y se representa de la siguiente manera.

$$\frac{dD}{dt} = dII + dAA \quad 45)$$

Capítulo II

Método

2.1 Características generales de la investigación

El alcance de esta investigación maneja una ruta cuantitativa – exploratoria, debido a que el estudio:

Se realiza cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

2.2 Hipótesis de la investigación

La hipótesis de la investigación es determinar si existe una relación entre el cierre de las empresas y los modelos de propagación de pandemia. Que se aplican solo a México.

2.3 Selección de Variables

Según la Secretaría de Relaciones Exteriores [SRE] (2013) la palabra México es procedente de la lengua indígena “náhuatl”, el nombre oficial del país es Estados Unidos Mexicanos, dicho país se encuentra situado en el continente americano, tiene frontera en el norte con Estados Unidos de América, al sur Belice y Guatemala; al este colinda con mar llamado Golfo de México y al oeste con el mar llamado Océano Pacífico. Además, su lengua materna es español, pero se cuentan con 67 lenguas indígenas dentro del país.

Según SRE (2018) México es un país con república representativa y democrática que se conforma por estados libres y soberanos, cuya cantidad son 31 estados y un Distrito Federal, que es mayormente conocido como

Ciudad de México. Dentro del país se cuenta con Gobierno Federal y Gobiernos Estatales que cuentan con sus 3 tipos de poderes:

1. Poder Ejecutivo: En base a la SRE (2018) este poder está a cargo del Presidente de México, dicho cargo se ejercer por seis años y no existe una posibilidad de reelección.
2. Poder Legislativo: En base a la SRE (2018) este poder se compone por el Senado, dicho senado se compone por tres senadores que rigen en cada estado, y treinta y dos senadores quienes son asignados por representación proporcional. También este poder se conforma por la Cámara de Diputados, la cual está conformada por trescientos diputados en representación de distritos electorales y doscientos que son electos por representación proporcional.
3. Poder Judicial: En base a la SRE (2018) se compone por la Suprema Corte de Justicia de la Nación, quien se conforma por once ministros que son elegidos por el Congreso.

El tipo de moneda que se utiliza dentro del país es el peso mexicano. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020) México cuenta con 126, 014,024 habitantes en su población total. Por la parte de economía con base en los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2022) México cuenta con 5,528,698 unidades económicas entre las cuales sobresale con un 86% el sector terciario; dentro del cual el 44% pertenece a servicios y el 42% pertenece a comercio; el resto se divide en 11% el cual pertenece a manufacturas y el 3% al resto de los sectores.

Según la Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2023) para el 2023 se previó el crecimiento del PIB real en un 2.6% y para el 2024 se prevé que descienda hasta el 2.1%. Otro punto importante ha tratar es el consumo ya que este contará con el respaldo de la mejora en el mercado laboral, además la inflación descenderá del 5.9% al 3.7% en 2024.

Según la OECD (2023), la economía de México crecerá un 2.1% en relación con el año 2023, en base a este dato y a los anteriores, es por ello por lo que radica la importancia de evitar que estas empresas cierren cuando se presente una pandemia de tal magnitud como fue la del SARS-CoV-2/COVID-19.

Según Sánchez Jiménez (2023) en su disertación doctoral plantea los siguientes razonamientos que existen entre la relación de las variables encontradas y el cierre de las empresas:

Sánchez Jiménez (2023), dice que a corto plazo las pérdidas inmediatas por COVID-19 fueron de capital humano, y físico; problemas de salud, afectaciones a los consumidores y proveedores. A largo plazo incluyen la distorsión de la vida económica y la disminución de la productividad.

La estimación del riesgo de epidemia y pandemia depende de diversos factores acorde la actividad; basándose en la magnitud y duración del evento, el tamaño y el estado de la economía local, su

ubicación geográfica la densidad de población y el periodo en el que ocurre.

Ante los impactos masivos del coronavirus en la salud física y psicológica del público, los impactos económicos y financieros pueden acrecer de importancia. Sin embargo, los efectos económicos van a ser preponderantes.

Sánchez Jiménez (2023) cita a Ramelli y Wagner (2020) quienes observaron que la energía, el comercio minorista y el transporte industrial, sufrieron pérdidas significativas en países como China y Estados Unidos, mientras que los servicios de sanidad siguieron el camino opuesto.

Como se planteó originalmente, la pandemia causada por COVID-19, no se consideró en un inicio como una de las variables que afectan el cierre de empresas, la necesidad de incluirla surgió tras la revisión de literatura y la situación actual.

Dice que una variable que surgió al desarrollar la presente investigación fue la pandemia, provocada por el COVID-19, ya que nunca nadie estuvo preparado para afrontarla, tampoco era considerada como una posible causa de cierre de empresas.

Como menciona el investigador antes mencionado en el trabajo realizado, descarto el uso de la variable de pandemia como un modelo porque

carecía de datos, por esta razón el objetivo principal de esta investigación trata de cubrir la laguna que existe.

Para la investigación previamente mencionada, se realizó una revisión de la literatura en diversos medios, en la cual se utilizó la saturación de categorías por Roberto Hernández Sampieri.

Hernández-Sampieri & Mendoza (2018) menciona que la saturación de categorías es cuando los datos se vuelven repetitivos o redundantes y los nuevos análisis confirman lo que se ha fundamentado.

En base a lo anterior, se llegó a la conclusión de que las siguientes variables encontradas son todas las que existen respecto al tema principal del trabajo de investigación. A continuación, se procedió a realizar el análisis de las variables obtenidas en la revisión de la literatura, las cuales son las siguientes:

2.4 Definición de variables

A continuación, se presenta un compilado de las variables que se encontraron en la investigación del marco teórico antes presentado, enumeradas de acuerdo con la jerarquía de importancia dentro de la investigación.

1) Tasa de Infección (β)

La tasa de infección es representada de diversas maneras, dependiendo del autor, por ejemplo, Grillo Ardilla et al., (2020) utiliza dicha variable con la nomenclatura (β) dentro de su investigación, de igual manera Delgado (2021),

quien cita a Kermack y McKendrick utiliza dentro de su investigación la tasa de infección cuya nomenclatura es $(BS(t) I(t))$.

Otro autor, Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f) menciona la tasa de infección dentro de su investigación, con la nomenclatura (β) , también Rahimi et al., (2021) toma en cuenta dicha variable dentro de su investigación, la nomenclatura es (β) .

Para este caso, siguiendo la metodología de saturación de categorías de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), donde nos menciona que se agrupan las variables aun y cuando se tenga una diferente nomenclatura o nombre, se consideran iguales.

Por lo tanto, la tasa de transmisión del autor Math2me (2020) con nomenclatura (a) es absorbida por la tasa de infección; de igual manera el autor Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick utiliza la variable, tasa de contagio con la nomenclatura (β) , que de igual manera es absorbida por la tasa de infección.

El autor Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) menciona dentro de su investigación el índice de transmisión, cuya nomenclatura es (α) , y en base a la saturación de categorías, antes mencionada es absorbida por la tasa de infección.

Según Aziz Alaoui et al., (2021) utilizando el modelo matemático basado en Kermack and McKendrick, dentro de este podemos encontrar la tasa de

contagio, con la nomenclatura (β), y basado en la saturación de categorías, esta variable será absorbida por la tasa de infección.

2) Tasa de Recuperación (γ)

La tasa de recuperación es una de las variables que más se repiten dentro del marco teórico, su nomenclatura se expresa de diversas maneras, por ejemplo, Grillo Ardilla et al., (2020), dentro de su investigación podemos encontrarla con la nomenclatura (γ); de igual manera el autor Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick utiliza esta misma variable con la nomenclatura (γ) que es idéntica al autor anterior.

Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f) también menciona la tasa de recuperación dentro de su investigación, cuya nomenclatura es (γ), la única diferencia con los autores anteriores es que dentro de esta tasa se consideran tanto los recuperados como los que fallecen.

Rahimi et al., (2021) es un autor más que menciona dicha variable en su investigación, cuya nomenclatura toma como (γ).

Siguiendo la metodología de saturación de categorías de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), donde nos menciona que se agrupan las variables aún y cuando se tenga una diferente nomenclatura o nombre, se consideran iguales.

Con base a lo anterior, Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) utiliza el índice de transmisión dentro de su investigación, dicho índice tiene como nomenclatura (b); dicho índice es

absorbido por la tasa de recuperación, de igual manera Math2me (2020) expresa dicha variable con (*b*) dentro de su investigación.

3) Población Total (*N*)

La población total es una variable esencial en este tema, normalmente la mayoría de los autores la utilizan con la misma nomenclatura, tenemos como ejemplo; Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick que expresa la variable antes mencionada con (*N*).

Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) utiliza esta misma variable dentro de su investigación, con la nomenclatura (*N*), que como podemos observar es igual al autor antes mencionado.

Otro autor, Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick, dentro de su investigación utiliza esta variable de igual manera, con la nomenclatura (*N*) que es idéntica a los autores que lo anteceden.

Un autor más que se suma a la lista es Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f), ya que este también utiliza la variable mencionada con la nomenclatura (*N*).

Utilizando la metodología de saturación de categorías de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), donde nos menciona que se agrupan las variables aún y cuando se tenga una diferente nomenclatura o nombre, se consideran iguales.

Por ultimo los autores Yang et al., (2023) utilizan la variable población observada en su investigación, dicha variable es representada por la nomenclatura (Y), en base a lo anterior es absorbida por la variable población total.

4) Susceptibles (S)

La variable denominada como Susceptibles es una variable importante dentro de la presente investigación, muchos de los autores la mencionan dentro de sus investigaciones y sistemas de ecuaciones con relación al tema, por ejemplo; Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick utilizan la nomenclatura (S) para dicha variable.

Otro autor que menciona esta variable es Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927), utilizando la nomenclatura (S), que, revisando al autor antes mencionado, la explican y describen de igual manera.

Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick dentro de su investigación utiliza esta variable con la nomenclatura (S), que como se observa es igual a los autores anteriores; de igual manera el autor Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f) utiliza la variable, con la nomenclatura (S) dentro de su investigación.

Por último, los autores Montesinos López y Hernández Suarez (2007) dentro de su investigación mencionan la variable antes mencionada, con la

nomenclatura (S). Como se observa, todos los autores que utilizan esta variable la nombran con la misma nomenclatura.

5) Infeccionados (*I*)

La variable de Infeccionados es utilizada en varias ocasiones dentro de la presente investigación, ejemplo de ellos es, Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick dentro de sus investigaciones utilizan la nomenclatura (*I*), a esta variable también se le nombra “incidencia”.

Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) dentro de su investigación utiliza la misma variable, con la nomenclatura (*I*), que es idéntica al autor antes mencionado.

El autor Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick, utiliza la misma variable con la misma nomenclatura que los anteriores, (*I*), dentro de su investigación, de igual manera Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f) dentro de su investigación menciona esta variable con la nomenclatura (*I*).

Por último, Montesinos López y Hernández Suarez (2007) dentro de su investigación mencionan la variable, con la nomenclatura (*I*). En el caso de esta variable, todos los autores que la mencionaron utilizaron la misma nomenclatura para ella.

6) Recuperados (R)

Podemos encontrar esta variable en cierto número de ecuaciones, ejemplo; Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick utiliza (R) como nomenclatura para dicha variable.

El autor Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Kermack y McKendrick (1927) utiliza la misma variable dentro de su investigación, utilizando la nomenclatura (R), que es igual al autor que se menciona previamente.

Delgado (2021) cita a Kermack y McKendrick en su investigación, donde se puede encontrar esta variable con la misma nomenclatura que los autores anteriores, la cual es (R).

Siguiendo la metodología de saturación de categorías de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), donde nos menciona que se agrupan las variables aún y cuando se tenga una diferente nomenclatura o nombre, se consideran iguales.

En base a lo anterior, Fajardo Patiño (2010) quien cita a Stanek, Stephan y Hlubinka (s.f) dentro de su investigación utiliza la variable “removidos”, con la nomenclatura (R), dicha variable es absorbida por la variable recuperados.

7) Tasa de mortalidad (μ)

Fresnadillo Martínez et al., (2013) citando a Hethcote (1976) utiliza esta nueva variable dentro de su investigación, cuya nomenclatura es (μ). Por otra

parte, siguiendo la metodología de saturación de categorías de Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), donde nos menciona que se agrupan las variables aún y cuando se tenga una diferente nomenclatura o nombre, se consideran iguales.

Los autores Rahimi et al., (2021) utilizan la variable “coeficiente utilizado en la tasa de mortalidad”, con la nomenclatura (k), en base a lo anterior esta es absorbida por la tasa de mortalidad.

8) Número reproductivo básico (R_0).

La variable antes mencionada es claramente escasa ya que solo es utilizada por dos autores, el primero es Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick, dicha variable dentro de las ecuaciones de su modelo se expresa con la nomenclatura (R_0).

De igual manera Grillo Ardilla et al., (2020) utiliza la misma variable en su investigación con la nomenclatura (R_0). Ambos autores nombran con la misma nomenclatura a la variable antes mencionada.

9) Inverso de la Recuperación (v)

Dicha variable es muy escasa en la presente investigación, ya que solo es utilizada por Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick con la nomenclatura (v), dicha variable tiene el valor de 14 días dentro de la investigación del autor antes mencionado.

10) Decrecimiento de la pandemia (R_e)

Otra de las variables muy pocas veces mencionada es esta, ya que solo es utilizada por Abelló Ugalde et al., (2020) utilizando el modelo de Kermack y McKendrick, se puede identificar con la nomenclatura (R_e) dentro de su investigación.

11) Tasa de letalidad (CFR)

Esta variable es utilizada solo una vez dentro de la investigación previa, ya que solamente es mencionada por Grillo Ardilla et al., (2020), donde dicha nomenclatura es (CFR).

12) Tasa de ataque secundario

La variable antes mencionada es exclusiva dentro de la investigación de Grillo Ardilla et al., (2020) ya que es el único en mencionarla en su investigación relacionada con la pandemia, además esta no cuenta con una nomenclatura.

13) Número reproductivo efectivo (R_t)

El autor Grillo Ardilla et al., (2020) utiliza dicha variable con la nomenclatura (R_t), solo se menciona en su investigación, ya que otros autores no la consideran dentro de sus investigaciones.

14) Tasa de nacimiento (c)

El autor Fresnadillo Martínez et al., (2013) cita a Dieckmann y Heesterbeek (2000) en su investigación, ya que se introduce una nueva

variable que es la tasa de nacimiento cuya nomenclatura es (c), y es el único autor que la menciona y utiliza.

15) Inmunidad de manera temporal (p)

Esta variable solamente es utilizada por Fresnadillo Martínez et al., (2013) quien cita a Dieckmann y Heesterbeek (2000) dentro de su investigación, la nomenclatura para esta es (p).

16) Número de contactos per cápita (μ)

Dicha variable es utilizada únicamente en la investigación de Delgado (2021), quien cita a Kermack y McKendrick, cuya nomenclatura utilizada para esta es (μ).

17) Proporción (t)

El autor Delgado (2021), quien utiliza el modelo de Kermack y McKendrick utiliza esta variable dentro de su investigación con la siguiente nomenclatura (t).

18) Expuestos (E)

Los autores Rahimi et al., (2021) mencionan esta variable dentro de su investigación, cuya nomenclatura es (E), y solamente es utilizado por ellos.

19) Cuarentena (Q)

Dentro de su investigación los autores Rahimi et al., (2021) utilizan dicha variable, cuya nomenclatura es (Q), cabe recalcar que son los únicos en mencionarla.

20) Tasa de protección (α)

Rahimi et al., (2021) mencionan esta variable, solamente estos autores la mencionan dentro de su investigación, utilizan la nomenclatura (α).

21) Inversa del tiempo de cuarentena promedio (δ)

Esta variable solo se visualiza dentro de la investigación de Rahimi et al., (2021), quienes utilizan la nomenclatura (δ).

22) Coeficiente de la tasa de curación (λ)

Dicha variable solo se observa dentro de una investigación, que es la de los autores Rahimi et al., (2021), quienes la mencionan con la nomenclatura (λ).

23) Tasa de población susceptible (α)

En la investigación presentada por Aziz Alaoui et al., (2021) utilizando el modelo matemático de Kermack and McKendrick, se puede observar la variable antes mencionada, con la nomenclatura (α).

24) Tasa de normas de confinamiento (ω)

Los investigadores Aziz Alaoui et al., (2021) utilizando el modelo matemático basado en Kermack and McKendrick, utilizan esta variable dentro de su investigación, dicha variable tiene la nomenclatura de (ω).

25) Tasa de sintomáticos (μ)

Aziz Alaoui et al., (2021) utilizando el modelo matemático basado en Kermack and McKendrick, utilizan dicha variable para explicar su modelo de ecuaciones, la variable tiene la nomenclatura (μ).

26) Tasa de contacto por unidad de tiempo (λ)

Montesinos López y Hernández Suarez (2007) utilizan esta variable dentro de su sistema de ecuaciones diferenciales, dicha variable tiene la nomenclatura de (λ).

27) Tendencia en relación con el tiempo (T_t)

En la investigación presentada por Yang et al., (2023), quienes son los únicos en utilizar dicha variable en su investigación, cuya nomenclatura es (T_t).

28) Estacional en relación con el tiempo (S_t)

Yang et al., (2023) son los autores que mencionan dicha variable en su investigación, cuya nomenclatura es (S_t), quienes también son los únicos en utilizarla.

29) Aleatoria en relación con el tiempo (I_t)

Los autores Yang et al., (2023) utilizan dicha variable en su investigación, cuya nomenclatura es (I_t), además son los únicos en utilizarla y mencionarla.

Capítulo III

Resultados

3.1 Agrupación de variables encontradas y sujetas a análisis.

A continuación, se presenta la recopilación de las variables encontradas durante la investigación con la finalidad de analizarlas para el objetivo principal.

Se encontraron 29 variables, en cada una de ellas se menciona los autores que la utilizan, así como el método que las utiliza y el impacto que tienen dentro de la investigación.

Tabla 1. Listado de variables, ordenadas de mayor a menor impacto.

No.	MÉTODO	VARIABLES	AUTORES	IMPACTO
1	SIR SEIQR SIARD	Tasa de Infección (β)	<ul style="list-style-type: none"> • Grillo Ardilla et al., (2020) • Delgado (2021) • Fajardo (2010) • Rahimi et al., (2021) • Math2me (2020) • Abelló Ugalde et al., (2020) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Aziz Alaoui et al., (2021) 	100%
2	SIR SEIQR	Tasa de Recuperación (γ)	<ul style="list-style-type: none"> • Grillo Ardilla et al., (2020) • Delgado (2021) • Fajardo Patiño (2010) • Rahimi et al., (2021) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Math2me (2020) 	75%

3	SIR HFMD	Población Total (N)	<ul style="list-style-type: none"> • Abelló Ugalde et al., (2020) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Delgado (2021) • Fajardo Patiño (2010) • Yang et al., (2023) 	62.5%
4	SIR SI SEIQR	Susceptibles (S)	<ul style="list-style-type: none"> • Abelló Ugalde et al., (2020) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Delgado (2021) • Fajardo Patiño (2010) • Montesinos López y Hernández Suarez (2007) 	62.5%
5	SIR SI SEIQR	Infectados (I)	<ul style="list-style-type: none"> • Abelló Ugalde et al., (2020) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Delgado (2021) • Fajardo Patiño (2010) • Montesinos López y Hernández Suarez (2007) 	62.5%
6	SIR SEIQR	Recuperados (R)	<ul style="list-style-type: none"> • Abelló Ugalde et al., (2020) • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Delgado (2021) • Fajardo Patiño (2010) 	50%
7	SIR	Tasa de mortalidad (μ)	<ul style="list-style-type: none"> • Fresnadillo Martínez et al., (2013) • Rahimi et al., (2021) 	25%
8	SIR	Número	<ul style="list-style-type: none"> • Abelló Ugalde et al., 	25%

		reproductivo básico (R_0)	(2020) • Grillo Ardilla et al., (2020)	
9	SIR	Inverso de la Recuperación (v)	• Abelló Ugalde et al., (2020)	12.5%
10	SIR	Decrecimiento de la pandemia (R_e)	• Abelló Ugalde et al., (2020)	12.5%
11	SIR	Tasa de letalidad (CFR)	• Grillo Ardilla et al., (2020)	12.5%
12	SIR	Tasa de ataque secundario	• Grillo Ardilla et al., (2020)	12.5%
13	SIR	Número reproductivo efectivo (R_t)	• Grillo Ardilla et al., (2020)	12.5%
14	SIR	Tasa de nacimiento (c)	• Fresnadillo Martínez et al., (2013)	12.5%
15	SIR	Inmunidad de manera temporal (ρ)	• Fresnadillo Martínez et al., (2013)	12.5%
16	SIR	Número de contactos per cápita (μ)	• Delgado (2021)	12.5%
17	SIR	Proporción (t)	• Delgado (2021)	12.5%
18	SEIQR	Expuestos (E)	• Rahimi et al., (2021)	12.5%
19	SEIQR	Cuarentena (Q)	• Rahimi et al., (2021)	12.5%
20		Tasa de protección (α)	• Rahimi et al., (2021)	12.5%

21	SEIQR	Inversa del tiempo de cuarentena promedio (δ)	<ul style="list-style-type: none"> Rahimi et al., (2021) 	12.5%
22	SEIQR	Coefficiente de la tasa de curación (λ)	<ul style="list-style-type: none"> Rahimi et al., (2021) 	12.5%
23	SIARD	Tasa de población susceptible (α)	<ul style="list-style-type: none"> Aziz Alaoui et al., (2021) 	12.5%
24	SIARD	Tasa de normas de confinamiento (ω)	<ul style="list-style-type: none"> Aziz Alaoui et al., (2021) 	12.5%
25	SIARD	Tasa de sintomáticos (μ)	<ul style="list-style-type: none"> Aziz Alaoui et al., (2021) 	12.5%
26	SI	Tasa de contacto por unidad de tiempo (λ)	<ul style="list-style-type: none"> Montesinos López y Hernández Suarez (2007) 	12.5%
27	HFMD	Tendencia en relación con el tiempo (T_t)	<ul style="list-style-type: none"> Yang et al., (2023) 	12.5%
28	HFMD	Estacional en relación con el tiempo (S_t)	<ul style="list-style-type: none"> Yang et al., (2023) 	12.5%
29	HFMD	Aleatoria en relación con el tiempo (I_t)	<ul style="list-style-type: none"> Yang et al., (2023) 	12.5%

Capítulo IV

Análisis

4.1 Principales dificultades

Para realizar la presente investigación se presentaron varias dificultades que agregaron un grado de complejidad considerable para el desarrollo de esta, la principal de ellas fue la búsqueda de la literatura, al ser un tema nuevo y reciente para la población, ya que, recordemos que la pandemia de SARS-CoV-2/COVID-19 tuvo lugar en el año 2020 y anterior a este era un tema muy desconocido para la ciencia y la población en general.

Por lo anterior, la bibliografía sobre el tema era muy escasa y poco específica, con llevo un tiempo considerable y una búsqueda mas amplia en diversas fuentes e idiomas, para poder obtener las variables necesarias para su análisis.

La siguiente dificultad se presento al momento de reunir y tratar de agrupar las variables obtenidas, ya que al ser un tema poco desarrollado por otros investigadores las variables obtenidas podían tener una nomenclatura o nombre diferente, y se tuvo que realizar un análisis detallado de la función de cada una para poder se agrupadas en un menor número de categorías y de esta manera poder facilitar su análisis.

Por último, la investigación sobre el comportamiento de las empresas durante la pandemia era muy escasa, ya que, por la situación, instituciones que realizan censos, directorios estadísticos, etc., detuvieron su funcionamiento dejando estos periodos de tiempo sin datos recopilados.

Existían otros medios de comunicación relacionados con el tema, pero estos sitios no citaban sus fuentes de donde se obtenía la información, por ello se llegó a la conclusión que dicha información era de dudosa procedencia y no abonaba a la investigación.

4.1 Análisis de la relación del cierre las empresas con las variables del modelo matemático

Una vez que se realizó el análisis de las variables obtenidas en base a la búsqueda de bibliografía, se procedió a seleccionar cuales de ellas son las que tienen mayor impacto dentro de la investigación en base al porcentaje.

De acuerdo con lo anterior, las siguientes variables son las seleccionadas de acuerdo con su porcentaje de mayor impacto.

Tabla 2. Variables de mayor impacto

No.	VARIABLE	NOMENCLATURA	IMPACTO
1	Tasa de Infección	(β)	100%
2	Tasa de Recuperación	(γ)	75%
3	Población Total	(N)	62.5%
4	Susceptibles	(S)	62.5%
5	Infectados	(I)	62.5%
6	Recuperados	(R)	50%
7	Tasa de mortalidad	(μ)	25%
8	Número reproductivo básico	(R_0)	25%

Basándonos en los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2021), en el año 2019 en México existían 4,9 millones empresas de diversos tamaños y de diversos sectores, tanto privado como paraestatal y dentro de estas empresas se tenían ocupados a 27 millones de empleados.

En el 2020, cuando dio inicio la pandemia en marzo, como ya se menciono antes, muchas de las empresas sufrieron cambios radicales dentro de sus formas de operar y de ofrecer sus bienes o servicios, según el INEGI (2021) en su estudio sobre la demografía de los negocios 2020, menciona que se estima que 3.9 millones de empresas sobrevivieron al aislamiento, en base a lo anterior, aproximadamente el 1,010,857 de las empresas tuvieron que cerrar sus puertas de manera definitiva, que es aproximadamente el 20.8% de estas.

Para el 2021, según el INEGI (2021) exactamente 17 meses después de haber concluido el levantamiento censal del estudio antes mencionado y de haber terminado el aislamiento, se tuvo la creación o nacimiento de un total de 619,443 empresas, que son aproximadamente el 12.8%.

Con base a toda la información y datos antes mencionados, podemos observar la relación que tiene la pandemia con el cierre de las empresas de México, sobre todo que las variables que se seleccionaron por su mayor impacto dentro de los modelos de propagación de pandemia se encuentran dentro de los factores que ocasionaron el cierre de las empresas de México, como ya se menciono antes.

Capítulo V

Conclusiones

5.1 ¿Qué aporta la investigación?

El principal aporte que realiza la investigación es comprobar la hipótesis planteada, donde se buscaba determinar si existe o no una relación entre el cierre de las empresas de México y los modelos de propagación de pandemia; dicha hipótesis es comprobada a través de la tabla 2 donde se mencionan las variables con mayor impacto, que son: (1) Tasa de infección (β), (2) tasa de recuperación (γ), (3) población total (N), (4) susceptibles (S), (5) infectados (I), (6) recuperados (R), (7) tasa de mortalidad (μ) y (8) número reproductivo básico (R_0), y el análisis del comportamiento de las empresas, antes, durante y post pandemia.

Se realiza una recopilación de las 29 variables obtenidas, esta recopilación se hace en base a un análisis detallado de cada una de las variables, ya que por ser un tema poco estudiado la nomenclatura cambiada en algunas ocasiones, pero la funciones de estas era la misma, es por ello que se decidió realizar categorías para disminuir la información a analizar.

En la Tabla 1 se muestran las 29 variables obtenidas en base a la bibliografía, pero se realizó una depuración para seleccionar solo aquellas que su impacto sea significativo dentro del objetivo principal de la investigación, esto se puede apreciar en la Tabla 2.

Por último, la investigación dio dos principales aportaciones, muestra la relación que tienen las variables de mayor impacto con el comportamiento de las empresas, y como afecto al cierre de estas de una manera mas centrada y

resumida para su mejor comprensión por parte de los lectores; y abre el panorama para realizar mas investigaciones sobre este tema innovador.

5.2 Limitaciones de la investigación

Al inicio de la investigación, se plantearon diversas limitaciones que se presentaron durante esta y que se deberían de resolver para poder continuar con el desarrollo completo y exitoso. La principal limitante que fue la falta de bibliografía acerca del tema se pudo resolver al ampliar más la búsqueda de bibliografía, con esto se refiere a buscar no solo en español sino en inglés y en repositorios de universidades hermanas.

Al poder ampliar el campo de búsqueda se logró encontrar más variables para poder trabajar, pero con eso llego la limitante de no poder homogenizar todas las variables que compartieran características en común. La solución para esta limitante fue analizar las características y funcionamientos específicos de cada una para poder crear categorías y disminuir el número de variables a analizar en la investigación.

Como ultima limitante se presentó la falta de información del comportamiento de las empresas durante la pandemia debido al aislamiento, este último se resolvió realizando una búsqueda de bases de datos pequeñas, pero de fuentes confiables que contuvieran datos relacionados con el tema principal y de esta manera poco a poco ir armando el panorama que se presentó en su momento para las empresas durante la pandemia.

5.3 Rumbo a seguir para futuros estudios

Con los resultados que se obtuvieron dentro de la investigación se da pie a que se continúe explorando e investigación sobre el tema principal, ya que se demuestra que verdaderamente si existe una relación entre los modelos de propagación de pandemia y el cierre de las empresas en México.

Pero, basándonos en lo anterior, cada vez se crean más estudios o se actualizan las variables de los modelos de propagación de pandemia, valdría la pena actualizar este estudio cada cierto tiempo para poder conocer nuevas variables que aparezcan y si estas afectan o no el cierre.

También la investigación se presta para, en un futuro, poder desarrollar un nuevo modelo de propagación utilizando solo las variables que tengan mayor impacto y poder crear una ecuación que lo haga funcionar y poder prevenir el cierre de las empresas desde el lado estadístico. O bien pueda incluirse en otros modelos para fortalecerlos.

Referencias

- Abelló Ugalde, I. A., Guinovart Diaz, R. y Morales Lezca, W. (2020). El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19 en Cuba. *Revista Cubana de Salud Pública*, 46 (supl. Especial), 1-24.
- Altamirano Freire, J. L., Oñate Miranda, F. P. y Sandoval Vaca, A. A. (2020). Las empresas en época de crisis por el COVID-19. FIPCAEC (Edición 20), Vol. 5 (No. 3), 783-793. DOI: 10.23857/fipcaec.v5i3.261
- Angulo Cadena, P. (s.f.). *Herramientas Profesionales – SIAR Sistema Integral de Administración del Riesgo. Instituto Nacional de Contadores Públicos Colombia*
<https://www.incp.org.co/wp-content/uploads/2017/04/mapa-aseguramiento-siar.pdf>
- Aziz Alaoui, M. A., Najm, F., & Yafia, R. (2021). SIARD model and effect of lockdown on the dynamics of COVID-19 disease with non total immunity. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, 16, 31.
<https://doi.org/10.1051/mmnp/2021025>
- Banco Mundial. (2021). Cómo la COVID-19 (coronavirus) afecta a las empresas en todo el mundo. 10 de abril del 2022, de Banco Mundial Sitio web:
<https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2021/02/17/how-covid-19is-affecting-companies-around-the-world>
- Cabo Bizet, N., y Cabo Montes de Oca, A. (2020). Modelos SIR modificados para la evolución del COVID-19. *Revista de Ciencias Matemáticas*, Vol. 34, No. 1 , Pág. 73-87.

Casares San Jose-Martí. I. (2013). *Procesos de Gestión de Riesgos y Seguros en las Empresas*. Autoedición.

<http://www.colegioactuarial.org/MaterialTecnico/GestiondeRiesgos.pdf>

Casazola Cruz, O. D., Apaza Mendoza, A. M., Julca Pillman, M. F. y Delgado López, C.

R. (2021) Comportamiento de enfermedades epidémicas a traves del modelo matemático SIR: Una revisión de la literatura. *INTERFASES*, 14, 164-183.

<https://doi.org/10.26439/interfases2021.n014.5400>

Comité Español de Matemáticas. (2 de julio del 2022). *Presentación*.

<https://matematicas.uclm.es/cemat/es/presentacion/>

Delgado, J. A. (2021). Modelo Dinámico de la pandemia de COVID 19. *Sanid. Mil.* Vol.

77 (No. 1): 7-16.

Derivando. (5 de mayo del 2020). *Matemáticas contra la COVID-19* [Archivo de Video].

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=UMyTxT4BLOW>

Fajardo Patiño, J. M. (2010). Modelos Determinísticos y Estocásticos S-I y S-I-R para

Difusión de Enfermedades Contagiosas [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Colombia.

Fresnadillo Martínez, M. J., García Sánchez, E., García Merino, E., Martín del Rey, A. y

García Sánchez, J. E. (2013). Modelización matemática de la propagación de enfermedades infecciosas: de dónde venimos y hacia donde vamos. *Rev Esp Quimioter*, Vol. 26 (No.2): 81-91.

- Grillo Ardilla, E. K., Santaella Tenorio, J., Guerrero, R. y Bravo, L. E. (2020). Mathematical model and COVID-19. Colombia Medica, Vol. 51 (No. 2):e-4277. <http://doi.org/10.25100/cm.v51i2.4277>
- Haberman, R. (2003). Ecuaciones en Derivadas Parciales con Series de Fourier y Problemas de contorno. Pearson Educación, S. A.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas. Ciudad de México, México : Mc Graw Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020) Consulta de indicadores sociodemográficos y económicos por área geográfica. <https://www.inegi.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *El INEGI presenta el segundo conjunto de resultados del estudio sobre la demografía de los negocios* 2020. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/EDN2020.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022) Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) Interactivo 05/2023. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/denue/denue2022.pdf>
- Kit, Ingeniería Electrónica. (2014). *Notas de boletines- ¿Qué es la Administración de Riesgos?*. <http://www.kit.com.ar/boletines-a.php?id=0000037>

- Math2me. (21 de mayo del 2020). Como se estudian las pandemias, COVID-19, Modelo SIR. [Archivo de video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=R0ZaYs3TZpU>
- Mijailov, V. (1982). Ecuaciones Diferenciales en Derivadas Parciales. MIR.
- Montesinos López, A. A. y Hernández Suarez, C. M. (2007). Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. *Salud Publica de México*, 49 (3), 2018-226.
- Muñoz Aparicio, C. G., Sánchez Torres, B. P. y Navarrete Torres, M. del C. (2020). Las empresas ante el COVID-19. *Revista de Investigación en Gestión Industrial, Ambiental, Seguridad y Salud en el Trabajo*. 85-143.
<https://doi.org/10.34893/gisst.v2i2.15>
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2023) Perspectivas Económicas de la OCDE.
https://issuu.com/oecd.publishing/docs/m_xico_perspectivas_economicas_de_la_ocde_eo_113?fr=sMDUyNTYxMjMxNTE
- Pantaleón, I. (2020). Así es el reto de las empresas durante la pandemia del COVID-19. Forbes. <https://www.forbes.com.mx/negocios-coronavirus-retos-latam-pandemia/>
- Pino Romero, N., López Cruz, R. y Wainer, G. (2017). Modelamiento Computacional de la dinámica de transmisión de varicela mediante Autómatas Celulares (Cell-DEVS). *Revista PESQUIMAT*, 20(2), 53-64.
<http://dx.doi.org/10.15381/pes.v20i2.13969>
- Ponce Campuzano, J. C. (s.f.) *SIR MODEL*. Blogger.
<https://www.jcponce.com/2020/08/sir-model.html>

- Préstamo Gil, F. E., Cordero Céspedes, A. C. y Zúñiga Gamboa, J. (2021). Administración del riesgo y planeación financiera como estrategias de las Pymes del sector tecnológico en Costa Rica ante la pandemia del COVID-19. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4 (1), 17-25.
- Quizanga Cajas, F. R. (2015). Propuesta de un sistema Integral de Administración de riesgos, para mejorar la gestión y competitividad de la empresa consultora Iglesias & Asociados CIA. LTDA., de la ciudad de Quito [Tesis de Licenciatura, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional - Universidad Central del Ecuador.
- Rahimi, I., Gandomi, A. H., Asteris, P. G., & Chen, F. (2021). Analysis and Prediction of COVID-19 Using SIR, SEIQR, and Machine Learning Models: Australia, Italy, and UK Cases. *Information*, 12(3), 109. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/info12030109>
- Salud (INFODIR): Ciencias Matemáticas*, 34(1), 73-87. <http://www.revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/view/1041>
- Sánchez Jiménez, M. A. (2023). Determinar los factores que influyen en el cierre de las empresas en el Estado de Guanajuato utilizando Análisis Factorial [Tesis de Doctorado, Universidad de Celaya]. Repositorio Institucional – Universidad de Celaya.
- Sánchez Jiménez, M. A. y Medina Cuéllar, S. E. (2023). Factores Económicos que Explican la Bancarrota de Empresas. *Investigación Administrativa*, vol. 52, núm. 131. Instituto Politécnico Nacional, México

- Secretaría de Relaciones Exteriores [SRE]. (2013). Información general sobre México.
<https://embamex.sre.gob.mx/republicadominicana/index.php/avisos/2-uncategorised/127-informacion-general-sobre-mexico>
- Sixto, R., Moreno, F. J. y M. Rodríguez, I. (2001). *Introducción a las ecuaciones en Derivadas Parciales (EDP's)*. Universidad de Huelva.
https://www.uhu.es/sixto.romero/EDP_libro.pdf
- Torrente Castro, L. A. (2021). *Sistema Integral de Administración de riesgos para la gestión socioempresarial de la Cooperativa departamental de caficultores de Huila*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42739/Latorrentec.pdf;jsessionid=99E012443FB7CED88CCF131052B2AF9E.jvm1?sequence=1>
- Weller, J. (2020). La pandemia del COVID-19 y su efecto en las tendencias de los mercados laborales. Naciones Unidas. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/67), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- Yang, C., An, S., Qiao, B. et al. (2023). Exploring the influence of COVID-19 on the spread of hand, foot, and mouth disease with an automatic machine learning prediction model. *Environmental Science Pollution Research* 30: 20369–20385
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23643-z>