

Risk Score Based on Critical Factors Associated with COVID-19

R. Martínez-Peláez, J.R. Bermeo-Escalona, J. L. Ayala, S.I. Rivera, A. Sánchez, L. C. Córdova-Albores, and V. Garcia

Abstract—The rapid spread of COVID-19 among Mexican population has had a great impact on the rates of infected people and the daily confirmed deaths by the new coronavirus. As a consequence, the public and private sector response was self-isolation and keep the strategy called "jornada de sana distancia" along two months. However, Mexican government declared that on June 1st the reopening of the country and economy will be conducted gradually; this means that many people will come back to their workplace. This paper proposes a new method to evaluate the risk to be infected by COVID-19, using the people mobility and the presence of some comorbidities.

Index Terms— coronavirus, comorbidity, COVID-19, risk calculator, risk factors.

I. INTRODUCTION

En diciembre de 2019, casos de neumonía de etiología desconocida fueron reportados en Wuhan, provincia de Hubei China. Posteriormente, se confirmó que esta condición clínica es causada por un nuevo tipo de coronavirus denominado SARS-CoV-2 causante de la COVID-19 [1]. La COVID-19 es una enfermedad que puede manifestarse como una infección asintomática, o como neumonía, leve o severa. Los brotes de esta enfermedad causan una alta tasa de mortalidad y morbilidad alrededor del mundo [2]. Las manifestaciones clínicas generalmente aparecen de 2 a 14 días después de la exposición viral, los cuales incluyen fiebre, tos, dificultad para respirar y neumonía. Los casos severos muestran complicaciones respiratorias, hepáticas, gastrointestinales y neurológicas con riesgo de provocar la muerte [3]. La transmisión es de humano a humano a través de gotitas de saliva o por contacto directo con los pacientes infectados [4]. Debido a que no se cuenta con un agente antiviral para el tratamiento de la infección y una vacuna para combatirla [5], las medidas de prevención son la mejor

la estrategia ante COVID-19 [6]. Dentro de estas se encuentran: confinamiento obligatorio en ciudades, el escaneo de la temperatura con la finalidad de identificar personas con sintomatología asociada a esta patología; la suspensión de transporte público, las restricciones de viaje, y en algunos casos cierre de fronteras [5], [6], [7], [8], [9]. En el contexto internacional, la respuesta oportuna del gobierno y de las organizaciones públicas y privadas es clave para mitigar el posible riesgo de contagio.

En el caso particular de México, el 20 de marzo, el Consejo de Salubridad General declaró la emergencia sanitaria derivada de casos positivos. La estrategia inicial incluyó el aislamiento de carácter voluntario, y consideró la suspensión de actividades no esenciales hasta el 30 de abril; sin embargo, el incremento en el número de contagios amplió el periodo de confinamiento hasta el 31 de mayo. Derivado de lo anterior y del número elevado de muertes, surge la necesidad de crear instrumentos que permitan monitorear a personas susceptibles de riesgo a contagio por la movilidad a la que constantemente están expuestos y esto complique la condición sistémica de quien la padece por la presencia de enfermedades crónico-degenerativas como hipertensión, diabetes y obesidad.

En consecuencia, el aporte principal es un instrumento que calcula los niveles de riesgo a: 1) complicaciones por COVID-19 con base en el análisis de su estado de salud y 2) contagiarse por COVID-19 con base en el análisis de su movilidad personal, con especial interés en el regreso a actividades comerciales, esparcimiento y laborales dentro de la "nueva normalidad".

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección 2, se presentan los antecedentes de salud pública y su impacto en relación con la infección. Los trabajos relacionados son descritos en la sección 3. El método de investigación es descrito en la sección 4. Los resultados obtenidos se presentan en la sección 5. Finalmente, se presentan las conclusiones en la sección 6.

II. ANTECEDENTES

A. Crisis de Salud en México

Los reportes del sector salud de varios países han identificado que, la mayoría de los casos ocurrió en adultos mayores con ciertas comorbilidades, asociándose estas a casos graves y decesos. En un estudio realizado con 96,032 pacientes, se demostró que, las comorbilidades presentes en pacientes no sobrevivientes son diabetes, obesidad e

R. Martínez-Peláez y S.I. Rivera, adscritos a la Facultad de Tecnologías de Información, Universidad De La Salle Bajío, León, 37150 México (email: rmartinezp@delasalle.edu.mx, sirivera@delasalle.edu.mx).

J.R. Bermeo-Escalona y J. L. Ayala, adscritos a la Facultad de Odontología, Universidad De La Salle Bajío, León, 37150 México (email: jbermeo@delasalle.edu.mx, jayala@delasalle.edu.mx).

A. Sánchez, adscrito a la Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad De La Salle Bajío, Salamanca, 36700 México (email: asanchezr@delasalle.edu.mx).

L. C. Córdova-Albores, adscrita a la Escuela de Agronomía, Universidad De La Salle Bajío, León, 37150 México (email: lcordova@delasalle.edu.mx).

V. Garcia Jimenez, adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, 32310 México (email: vicente.jimenez@uacj.mx).

hipertensión [10]. Se entiende como comorbilidad la presencia de ≥ 2 enfermedades diagnosticadas en el mismo individuo y sin relación entre ellas [11]. Esta incrementa progresivamente con la edad, en donde, entre el 60 y 70% son personas mayores de 50 años [12]. Hasta el 2018 en México, del total de la población, el 51.1% corresponde al sexo femenino y el 48.9% al masculino; de lo anterior el 14.5% de las mujeres y 13.9% de los hombres se encuentran en un rango de edad de 50-64 años [13].

La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad crónica producida por diversos factores, destacando los genéticos, alta ingesta de sodio, edad avanzada, inactividad física y enfermedades crónicas como obesidad, dislipidemias y diabetes. En 2018 en nuestro país el 15.9 % (23,715) de los fallecimientos totales reportados por enfermedades del corazón, fueron causados por HTA [14], donde el sexo masculino representa el 53.56% de defunciones mientras el 46.43% corresponde al sexo femenino en edades de 55-64 años [15].

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) coloca a México en segundo lugar en prevalencia en obesidad en adultos a nivel mundial. El 72.5% de la población mexicana presenta sobrepeso u obesidad, reconociéndose como el primer factor de riesgo para el desarrollo de Diabetes Mellitus (DM) [16]. Las defunciones ocurridas a causa de la DM escalaron posiciones entre las causas de muerte, ocupando el segundo lugar tanto a nivel nacional como internacional. En este mismo año se reportaron 101,257 muertes por diabetes, afectando en mayor número al sexo masculino en un rango de edad de 55-64 años [15].

B. Impacto de la COVID-19 en México

Se revisó la literatura con especial atención en artículos donde se clasificaron los factores de riesgo de las diferentes comorbilidades y enfermedades asociadas a casos clínicos graves, permitiendo conocer las principales amenazas que pueden afectar a la población mexicana. Las comorbilidades más presentes son: cáncer, diabetes, enfermedad coronaria, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), enfermedad renal crónica, hipertensión, e inmunodeficiencia. Como caso particular, se considera al embarazo como un detonante para desarrollar patologías como hipertensión y diabetes, que pueden agravar la condición física de la paciente, en caso de infectarse por COVID-19.

Para conocer el impacto que tiene en la salud de los mexicanos, se realizó un análisis estadístico descriptivo a los datos abiertos de la Dirección General de Epidemiología publicado el 5 de mayo de 2020 sobre los casos asociados a COVID-19 [17], encontrando 26,025 casos confirmados. Del total de casos positivos, 41.59% fueron mujeres y 58.41% fueron hombres.

En la Tabla I, se muestra la prevalencia de comorbilidades/enfermedades presentes en casos positivos, corroborando que la neumonía es un signo de la gravedad por la infección. También se observa que, la alta prevalencia de las comorbilidades de hipertensión, obesidad y diabetes entre la población mexicana.

Una vez concluido el análisis de las comorbilidades, se calculó el porcentaje de letalidad en México, considerando los 2,507 pacientes fallecidos a causa del COVID-19. La letalidad de la enfermedad fue de 9.63%.

TABLA I
PREVALENCIA DE COMORBILIDADES / ENFERMEDADES EN CASOS POSITIVOS
POR LA COVID-19 EN MÉXICO

Comorbilidad	Sexo	Casos positivos	% por Sexo	% respecto al total de positivos
Neumonía	Mujer	2662	33.94%	30.14%
	Hombre	5181	66.06%	
Hipertensión	Mujer	2412	42.23%	21.95%
	Hombre	3300	57.77%	
Obesidad	Mujer	2411	43.97%	21.07%
	Hombre	3072	56.03%	
Diabetes	Mujer	1986	40.66%	18.77%
	Hombre	2899	59.34%	
Tabaquismo	Mujer	589	25.69%	8.81%
	Hombre	1704	74.31%	
Asma	Mujer	496	57.34%	3.32%
	Hombre	369	42.66%	
Cardiovascular	Mujer	303	40.73%	2.86%
	Hombre	441	59.27%	
Renal Crónica	Mujer	257	38.36%	2.57%
	Hombre	413	61.64%	
EPOC	Mujer	297	46.41%	2.46%
	Hombre	343	53.59%	
Inmunosupresión	Mujer	213	46.10%	1.78%
	Hombre	249	53.90%	

III. TRABAJOS RELACIONADOS

A la par de los estudios clínicos en pacientes con COVID-19, probar tratamientos y medicamentos, y crear la vacuna, se desarrollaron diferentes sitios Web para ayudar a la ciudadanía. En este sentido, Godhall destaca la importancia de desarrollar herramientas que permitan comprender el riesgo que puede padecer un trabajador [18].

Los primeros sitios Web relacionados a la pandemia, se centraron en monitorear el comportamiento de la pandemia a nivel global o nacional. Google desarrolló una plataforma que permite conocer la evolución de casos positivos, personas recuperadas y defunciones relacionadas con COVID-19 a nivel mundial, nacional y local [19], brindando un panorama global de la situación.

En el caso particular de México, se desarrolló el sitio Web COVID 19 México [20], que permite mostrar los datos relacionados a la COVID-19 de manera gráfica, facilitando su interpretación. En el desarrollo del sitio Web se encuentra la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Laboratorio Nacional de Geointeligencia (GeoInt), Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), y Laboratorio de Datos del GeoInt. En la interfaz principal, se muestra el número de personas infectadas, número de defunciones, entre otros datos de manera descriptiva.

En la Universidad Nacional Autónoma de México, se desarrolló el sitio Web [21] donde se muestra el porcentaje de las defunciones confirmadas, dividida por comorbilidades. La principal diferencia, respecto a los trabajos previos, es que los

datos presentados se enfocan en el impacto de las comorbilidades en una persona que adquiere la infección, resaltando el porcentaje de personas fallecidas por dicha comorbilidad.

En la Universidad La Salle México, se desarrolló el sitio Web [22] que presenta un monitoreo diario y acumulado del avance de la COVID-19, teniendo como principal diferenciador, un pronóstico de evolución del virus en México utilizando inteligencia artificial. En el sitio Web, se puede conocer el pronóstico de casos confirmados y el número de personas fallecidas por varias semanas.

Adicionalmente, se encuentran sitios Web que ayudan a las personas a identificar el nivel de riesgo a complicaciones por la infección. En cada caso, se solicita a la persona completar un cuestionario para conocer su nivel de riesgo. Es importante mencionar que, cada sitio Web con este enfoque utiliza los niveles de riesgo de su población, dificultando su adopción de manera general.

Debido a que la infección apareció en China a finales de 2019, uno de los primeros sitios Web para calcular el nivel de riesgo que puede tener un paciente por COVID-19 se encuentra disponible en [23]; Sin embargo, el canal de comunicación no es seguro, y al compartir datos personales sensible se puede comprometer la privacidad de los pacientes [18].

Por otra parte, y en consecuencia del crecimiento acelerado del número de casos positivos en Italia, el grupo Brescia-COVID desarrolló el sitio Web [24], que sirve como filtro para pacientes infectados. El instrumento está dirigido a pacientes que tienen la infección por 7 días o más, o a personas que sospechan sobre una posible infección. El nivel de riesgos es de 0 a 3; siendo el nivel más alto 3. El cuestionario consta de 4 preguntas de las cuales 3 se centran en la capacidad pulmonar del paciente. La escala utiliza las funciones de examen del paciente junto con la necesidad de aumentar los niveles de soporte respiratorio (NIV, intubación, pronación) para sugerir recomendaciones de tratamiento. Adicionalmente, se simplifica el resumen clínico del estado del paciente y permite a los médicos comparar a los pacientes entre sí y hacer un seguimiento de la tendencia del nivel de gravedad respiratoria de un paciente a lo largo del tiempo.

Otro de los países más afectados en Europa es Reino Unido, y en consecuencia, se desarrolló el sitio Web [25] que permite calcular el nivel de riesgo de infección y mortalidad. En el instrumento, se solicitan datos y hábitos personales; así como, la opinión sobre el accionar del gobierno ante la pandemia.

En el sitio Web [26], se presenta un cuestionario que utiliza los niveles de riesgo con base en los datos públicos de China y Estados Unidos. Un detalle a resaltar es que no hace distinción de las edades hasta llegar a los 40 años y tampoco considera el sexo de la persona, haciendo evidente que cada instrumento debe ser adaptado a las condiciones de la población.

En respuesta a la situación que se vive en México, el Instituto Mexicano del Seguro Social desarrolló el sitio Web [27], que permite calcular el riesgo a complicaciones de salud por COVID-19. En la interfaz se solicita el sexo y edad como condiciones iniciales y necesarias para continuar con la

selección de otros factores. El nivel de riesgo se presenta en forma de semáforo, considerando como punto de partida un nivel medio de riesgo hasta el nivel muy alto.

Cada uno de los sitios Web cumple una función importante en este escenario global pero hace falta un instrumento que integre el cálculo de los niveles de riesgo a complicaciones y a contagiarse por COVID-19, en el contexto del regreso a actividades dentro de la “nueva normalidad” para la toma de decisiones oportuna.

IV. MÉTODO

A. Selección de Variables

Los archivos publicados a través del sitio Web [17] contienen 33 variables, entre los que se incluyen datos demográficos y clínicos. Con base en los trabajos [28], [29], [30] se decidió utilizar 13 variables, diferenciando entre mujer y hombre debido a que la infección es más letal para los hombres. La asignación de los factores de riesgo para 10 variables se basa en los datos publicados por el Instituto Mexicano del Seguro Social. Para la enfermedad renal crónica, se utilizó el valor de riesgo relacionado a la inmunodepresión por los cambios generales que produce en la capacidad del cuerpo para reaccionar a una infección. En el caso del asma se utilizó el valor de riesgo relacionado a EPOC por su relación con la vía aérea en cuanto a la contracción de los bronquios [30], [31]. La Tabla II muestra la selección de variables y su correspondiente valor de riesgo.

TABLA II
FACTORES DE RIESGO POR VARIABLE (COMORBILIDAD / ENFERMEDAD)

Variable	Significado	Factor de riesgo utilizados	Factor de riesgo del IMSS
Redad	Edad	1.0721	1.0721
Rsexo (Mujer)	Sexo (Mujer)	-	-
Tsexo (Hombre)	Sexo (Hombre)	1.8071	1.8071
Rhipertensión	Hipertensión	1.1125	1.1125
Rdiabetes	Diabetes	2.1767	2.1767
Robesidad	Obesidad	1.2826	1.2826
Repoc	EPOC	1.2505	1.2505
Rtabaquismo	Tabaquismo	1.2150	1.2150
Rcardio	Cardio vascular	1.0728	1.0728
Rrenal	Renal crónica	2.7596	-
Rinmuno	Inmunosupresión	2.7596	2.7596
Rasma	Asma	1.2505	-
Remba	Embarazo	1.2200	-

Existen sistemas que midieron la movilidad, pero estos no están estructurados para poder realizar un análisis para obtención de factores de riesgo a SARS-CoV-2. Por esta razón y al promoverse el uso de cubrebocas en México, llegando en algunos casos a hacerlo obligatorio, se decidió ponderar los factores de riesgo de los ítems por movilidad, usando los resultados del meta-análisis presentado en [31] donde se valora el riesgo de transmisión a SARS por la difusión de aerosales en ambiente hospitalario; en particular usamos el factor de riesgo por inserción de tubo nasogástrico en pacientes de 1.2 (I. C. 95%: 0.4-4.0), ya que aunque la población use cubrebocas, no se puede validar el correcto uso ni el contacto con personas infectadas, siendo un dato de

riesgo confiable para SARS al tener contacto cercano con una persona positiva. Para ponderar el ítem de contacto físico o cercano con persona diagnosticada, se utilizó el riesgo anteriormente mencionado de 1.2 y lo multiplicamos por el coeficiente básico de reproductibilidad mencionado en [32] de 3.10 dando como resultado un riesgo de 3.72. Finalmente, el ítem de transporte público usamos el factor de riesgo a contagio reportado en [33] de acuerdo al radio de movilidad.

TABLA III
FACTORES DE RIESGO POR VARIABLE (MOVILIDAD)

Pregunta	Variable	Factor de riesgo utilizado
Contacto físico o cercano con persona diagnosticada positivo por COVID-19	f_1	3.72
Viaje fuera del país	f_2	1.2
Viaje al interior del país	f_3	1.2
Visita a centro de salud	f_4	1.2
Visita a familiares/amigos	f_5	1.2
Salir a realizar compras	f_6	1.2
Salir a realizar pagos	f_7	1.2
Salir por trabajo	f_8	1.2
Salir por esparcimiento	f_9	1.2
Usas transporte público	f_{10}	1

B. Definición de Secciones de la Calculadora de Riesgo

La calculadora de riesgo propuesta se divide en tres secciones:

1) datos generales, donde se calcula el riesgo a complicación que una persona puede presentar de acuerdo con su edad y sexo, ya que Suarez y col., en 2020 mencionan que en población mexicana el SARS-COV-2 afecta a mayores de 50 años y del sexo masculino presentando 3 veces más riesgo a complicación en caso de contagio en comparación con el sexo femenino [34].

2) padecimiento de comorbilidades y/o enfermedades, ya que los estudios han demostrado que en sujetos con diabetes, hipertensión, obesidad, tabaquismo, condiciones respiratorias e inclusión embarazo aumentan el riesgo de complicación y letalidad en un 60% [28], [29], [35].

3) movilidad durante el aislamiento voluntario previo al regreso a actividades presenciales, en las investigaciones sobre movilidad existen dos enfoques. Algunos estudios abordan la movilidad colectiva [36], [37], [38] para analizar la propagación del virus en un territorio específico y evaluar los resultados de las estrategias de mitigación. Otros estudios, de corte epidemiológico, abordan la movilidad individual [39], [40], [41], [42] y estiman los factores de riesgo en viajes nacionales e internacionales y desplazamiento corto en actividades: a) por necesidades básicas de subsistencia y trabajo, b) actividades lúdicas y recreación; así como su exposición en transporte público, aire acondicionado y uso de cubre bocas entre otros. Datos que se tomaron en cuenta para plantear las preguntas de este instrumento. Del segundo grupo corresponden los factores de riesgo empleados en este proyecto: factores de riesgo por viajes fuera de México, entre entidades federativas, desplazamiento a centros de salud, visitas a familiares o conocidos fuera del hogar, adquisición de

bienes y servicios básicos, actividades laborales, y otros lúdicos.

C. Construcción de la Puntuación de Riesgo

El siguiente paso fue definir las operaciones necesarias para calcular los niveles de riesgo. Es importante mencionar que, las dos primeras secciones se combinan para conocer el nivel de riesgo a complicaciones por COVID-19, y la tercera sección permite conocer el nivel de riesgo a contagiarse por COVID-19.

En la primera sección, se calcula el nivel de riesgo a complicaciones con base a la edad y sexo utilizando (1) donde R_{sexo} y $Redad$ son el factor de riesgo que tiene asignado a las variables sexo y edad en la Tabla II.

$$RiesgoI = [1 / (1 + (\exp(-1 * (\text{LN}(R_{sexo}) + (\text{LN}(Redad) * edad) + \text{LN}(0.02386)))))) * 100] \quad (1)$$

En la segunda sección, que se encuentra relacionado a las comorbilidades, se calcula el índice de masa corporal para determinar si se sufre de sobrepeso u obesidad por medio de (2). En caso de sufrir sobrepeso u obesidad, se tiene como resultado el valor de 1.

$$IMC = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Altura (m)}^2} \quad (2)$$

Con el resultado del IMC , se procede a calcular el nivel de riesgo a complicaciones con base en las comorbilidades utilizando (3), donde f_i hace referencia a la prevalencia de una comorbilidad, teniendo como valores posibles 1 o 0. Los factores de riesgo se obtienen de la Tabla II.

$$RiesgoII = (R_{hipertension} * f_1) + (R_{diabetes} * f_2) + (R_{obesidad} * f_3) + (R_{epoc} * f_4) + (R_{tabaquismo} * f_5) + (R_{cardio} * f_6) + (R_{renal} * f_7) + (R_{inmuno} * f_8) + (R_{asma} * f_9) + (R_{emba} * f_{10}) \quad (3)$$

El riesgo a complicaciones se encuentra dado por (4).

$$RiesgoComplicaciones = \text{Porcentaje}(RiesgoI) * \left[1 + \frac{\text{Porcentaje}(RiesgoII)}{10} \right] \quad (4)$$

El nivel de riesgo a complicaciones por la infección se encuentra dividido por Tiers. Tier 1: un resultado igual o menor a 33%, se considera un nivel de riesgo medio. Tier 2: los valores mayores a 33% y menor o igual a 67%, se consideran un nivel de riesgo alto. Tier 3: los valores mayores a 67% representan un nivel de riesgo muy alto. La construcción de los Tiers se basa en el estudio realizado al archivo del 24 de mayo de 2020 por la Dirección General de Epidemiología. En esa fecha, el número de decesos ascendió a 7,394 de los cuales, 6% (473 pacientes) presentaron un nivel

de riesgo medio a complicaciones, 39% (2,851 pacientes) presentaron un nivel de riesgo alto a complicaciones, y 55% (4,070 pacientes) presentaron un nivel de riesgo muy alto a complicaciones, evidenciando el riesgo que tiene un paciente con una o más comorbilidades y con infección por COVID-19 de tener un diagnóstico desfavorable.

En la tercera sección, se calcula el nivel de riesgo a contagiarse por medio de (5), donde f_i hace referencia a la frecuencia de salidas durante los últimos 15 días, previos al regreso a actividades presenciales dentro de la nueva normalidad, que se multiplica por el factor de riesgo definido en la Tabla III.

$$\text{RiesgoIII} = (3.72 * f_1) + \sum_{i=2}^9 1.2f_i + (1 * f_{10}) \quad (5)$$

Finalmente, el riesgo a contagiarse se encuentra dado por (6).

$$\text{RiesgoContagiarse} = \text{LN}(\text{RiesgoIII}) \quad (6)$$

El nivel de riesgo a contagiarse por la infección se encuentra dividido por Tiers. Tier 1: un resultado menor o igual a 1, se considera un nivel de riesgo bajo. Tier 2: los valores mayores a 1 y menor o igual a 2, se consideran un nivel de riesgo medio. Tier 3: los valores mayores a 2 y menores a 3 representan un nivel de riesgo alto. Tier 4: los valores superiores a 3 representan un nivel de riesgo muy alto. La construcción de los Tiers se basa en la medida de mitigación propuesta por la Organización Mundial de la Salud de quedarse en casa, obteniendo un nivel de riesgo bajo debido a presentar baja o nula movilidad fuera de su hogar. A partir de este punto, los Tiers evalúan la frecuencia de salidas y los lugares que se visitan para calcular la probabilidad de contagiarse.

V. RESULTADOS

A. Evaluación con Simulación

Se realizó una simulación utilizando Python 3.6 en una laptop marca HP con procesador Intel Core i7, 16 GB de memoria RAM y disco duro de 1 TB. La simulación en Python 3.6 sirvió para comparar los resultados con la calculadora de complicación de salud por COVID-19 del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Con la validación de los resultados, se procedió a realizar 10 simulaciones de la sección I y II, y de la sección III para calcular los niveles de riesgo a complicaciones y a contagiarse.

En la Fig. 1, se muestra el nivel de riesgo a complicaciones por COVID-19, evidenciando que la edad es un factor detonante para las complicaciones. Los resultados de las 200 evaluaciones, se agrupan de la siguiente manera: 31.5% (63 evaluaciones) de nivel medio, 35.5% (71 evaluaciones) de nivel alto y 33% (66 evaluaciones) de nivel muy alto.

La Fig. 2 muestra el nivel de riesgo a infectarse por COVID-19, evidenciando que a mayor movilidad se

incrementa la probabilidad de infectarse. Los resultados de las 100 evaluaciones, se agrupan de la siguiente manera: 0 casos en nivel bajo, 1 caso en nivel medio, 14 casos en nivel alto, y 85 casos en nivel muy alto.

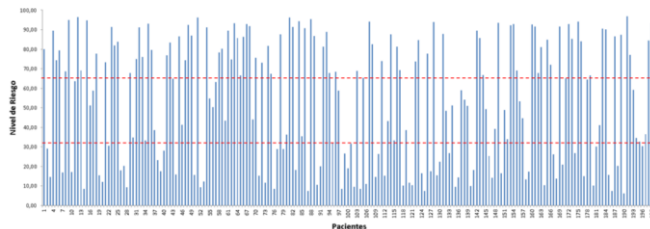


Fig. 1. Simulación de nivel de riesgo a complicaciones por la COVID-19.

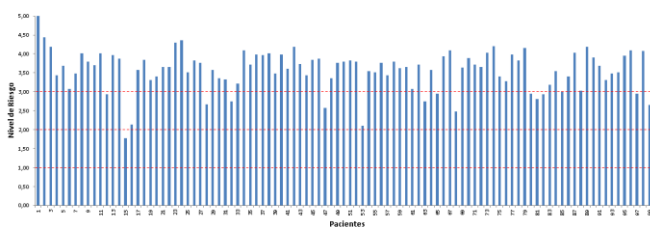


Fig. 2. Simulación de nivel de riesgo a infectarse por la COVID-19.

B. Evaluación con Datos Reales

Con la finalidad de evaluar el funcionamiento del nivel de riesgo a complicaciones con datos reales, se utilizó el archivo proporcionado por la Dirección General de Epidemiología con fecha del 24 de mayo de 2020. En la Fig 3, se muestran los resultados del nivel de riesgo a complicaciones de cien casos seleccionados aleatoriamente.

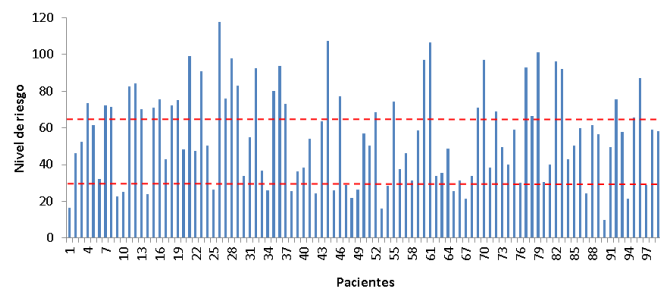


Fig. 3. Nivel de riesgo a complicaciones utilizando datos reales.

C. Comparación con Trabajos Relacionados

Se realizaron 200 evaluaciones con datos reales a partir de los casos clínicos publicados en el archivo del 24 de mayo de 2020 por la Dirección General de Epidemiología, utilizando la calculadora desarrollado por el IMSS [27] y la calculadora propuesta

Los resultados de las 200 evaluaciones con casos reales, utilizando la calculadora propuesta, se agrupan de la siguiente manera: 26% (52 casos) dieron nivel medio de riesgo, 40.5% (81 casos) nivel alto de riesgo y 33.5% (67 casos) nivel muy alto. Por otra parte, la calculadora del IMSS agrupa los resultados de la siguiente forma: 41% (82 casos) en nivel medio de riesgo, 37% (74 casos) en nivel alto de riesgo, y 22% (44 casos) en nivel muy alto.

La Fig 4 muestra la comparativa de resultados entre ambas propuestas, evidenciado un funcionamiento similar en el cálculo del nivel de riesgo a complicaciones.

Ambos instrumentos calculan el nivel de riesgo a complicaciones, permitiendo conocer la probabilidad de un diagnóstico grave con base en su estado de salud actual. Sin embargo, una diferencia importante entre ambas calculadoras de riesgo a complicaciones es la agrupación de los niveles de riesgo. En el caso de la calculadora del IMSS, se identificaron a 82 pacientes (41%) en nivel medio de riesgo y 44 pacientes (22%) se ubicaron en el nivel muy alto. Con los mismos casos clínicos, la calculadora propuesta agrupa a 52 pacientes (26%) y 67 casos (33.5%) en los niveles medio y muy alto, respectivamente.

Lo anterior demuestra que, la calculadora de riesgo del IMSS agrupa el porcentaje de riesgo medio y alto a partir del 50%, mientras que, la propuesta agrupa los porcentajes de riesgo medio y alto a partir del 34%, reduciendo el rango para casos medios con la finalidad de presentar el riesgo más real a las personas.

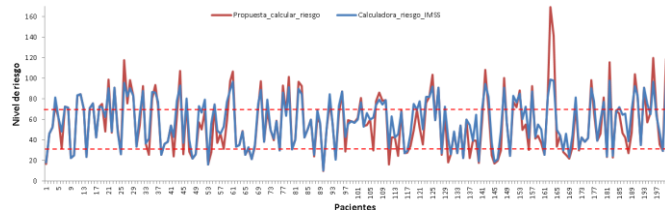


Fig. 4. Comparación de resultados entre calculadora del IMSS y calculadora propuesta usando datos reales.

Una ventaja importante de la propuesta es el instrumento que mide el nivel de riesgo a contagiarse. La propuesta ha sido probada por 31 personas, obteniendo los resultados que se muestran en la Fig. 5.

Es importante mencionar que, el nivel de riesgo a contagiarse evidencia que la mejor estrategia para reducir la probabilidad de contagio es quedarse en casa y salir lo menos posible; sin embargo, cada vez más personas tienen que reincorporarse a sus actividades laborales, incrementando la movilidad.

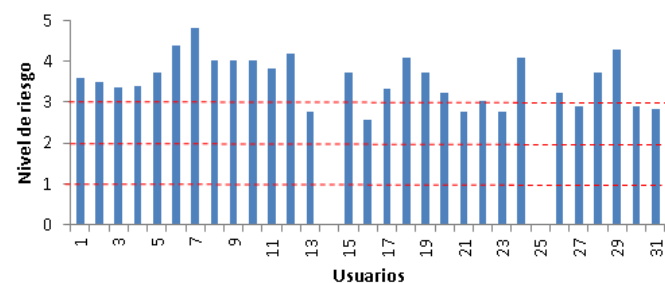


Fig. 5. Evaluación de prueba para calcular el nivel de riesgo a contagiarse.

La calculadora de riesgo presentada en [24], se centra principalmente en la capacidad pulmonar de la persona para determinar su nivel de complicación; sin embargo, se tiene conocimiento que esa sintomatología evidencia la severidad de la infección. Por otra parte, el trabajo propuesto se centra en

calcular el riesgo a complicaciones y riesgo a contagiarse con la finalidad de crear consciencia para tomar mejores decisiones. Por lo tanto ambos trabajos son complementarios, y no excluyentes.

La calculadora de riesgo presentada en [25] evalúa el riesgo de infección y mortalidad. Además, se incluyen preguntas relacionadas a factores de comportamiento, gubernamentales y ambientales. En comparación con la propuesta presentada en este artículo, se solicita más información al usuario; sin embargo, en el cálculo del nivel de riesgo a complicaciones se solicita información similar. La principal diferencia se centra en el método para calcular el riesgo a infectarse debido a que en la propuesta se solicita información de la movilidad relacionada a actividades y su frecuencia asociada. Por otra parte, en [25], se solicita la frecuencia relacionada al uso de transporte público y la asistencia al trabajo o escuela, dejando de lado otras actividades que se realizan fuera del hogar familiar.

D. Limitaciones en el Trabajo

El presente trabajo cuenta con las siguientes limitaciones:

- 1) Es un instrumento que ha sido analizado de manera experimental a través de simulaciones y utilizando datos reales de casos clínicos publicados el 24 de mayo de 2020 por la Dirección General de Epidemiología.
- 2) No se cuenta con la aplicación final – Web o móvil, cuando se escribió el presente artículo.
- 3) Se recolectaron datos de manera manual para analizar el nivel de riesgo a contagiarse.
- 4) Los niveles de riesgo utilizados para calcular el nivel de riesgo a complicaciones son los utilizados por el IMSS, adaptando el valor en tres variables.
- 5) Los niveles de riesgo utilizados para calcular el nivel de riesgo a contagiarse se encuentran adaptados a partir de los resultados presentados en artículos científicos publicados en revistas especializadas.

E. Discusión

Se presenta un instrumento que permite calcular los niveles de riesgo a complicaciones y riesgo a contagiarse por COVID-19. La calculadora tiene su valor en dos sentidos principales. En primer lugar, las personas podrán conocer el riesgo a un diagnóstico fatal por el estado de salud en caso de infectarse por COVID-19. Además, las personas conocerán la probabilidad de infectarse con base en su movilidad, confirmando que la mejor estrategia es quedarse en casa y salir para realizar actividades esenciales.

En segundo lugar, empresas, gobiernos y/o centros de educación podrán tener información sobre el estado de salud de sus colaboradores o miembros de su comunidad con el objetivo de definir estrategias para implementar acciones dirigidas hacia un regreso seguro de actividades presenciales en las instalaciones. También conocerán el comportamiento de movilidad que tienen sus colaboradores para identificar la probabilidad de infectarse, permitiendo tomar medidas de higiene y control.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo, se han analizado las comorbilidades y enfermedades presentes en casos positivos por COVID-19 en México. El análisis demuestra que la enfermedad renal crónica en combinación con la infección por COVID-19 tiene un alto porcentaje de letalidad, superando a otras comorbilidades.

En consecuencia del análisis, se propone una calculadora que mide el nivel de riesgo a complicaciones y nivel de riesgo a infectarse. La simulación con datos reales para calcular el nivel de riesgo a complicaciones por COVID-19 tiene un comportamiento muy similar a los resultados obtenidos por medio de la calculadora desarrollada por el IMSS, evidenciando que la edad es el factor de riesgo con mayor impacto en complicaciones. Las mejoras que presenta la propuesta son: 1) evalúa las condiciones de renal crónica, asma, y embarazo para las mujeres y 2) la agrupación de los niveles de riesgo reducen el espectro de casos nivel medio, robusteciendo los resultados.

El nivel de riesgo a contagiarse por COVID19 se realiza con base en la movilidad de las personas en el contexto previo al regreso a actividades presenciales dentro de la nueva normalidad en México. Las simulaciones demuestran que se puede conocer los casos con mayor riesgo a infectarse, permitiendo tomar medidas de higiene y salud para reducir el riesgo. El instrumento puede ser utilizado por instituciones públicas y privadas para conocer la movilidad de sus colaboradores, y con base en ese nivel de riesgo, tomar decisiones estratégicas durante el regreso a la nueva normalidad.

Se encuentran en preparación dos artículos derivados del análisis de riesgo y letalidad por comorbilidades entre la población mexicana. También se encuentra en desarrollo la aplicación móvil de la calculadora de riesgo para sistema operativo Android, en una primera fase.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los miembros de la Comisión de Salud de la UDLSB, a la Dra. María Alicia Zavala Berbena, y al Dr. Pedro Luis López de Alba por el apoyo otorgado en el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] B. Shanmugaraj, K. Siri wattananon, K. Wangkanont, and W. Phoolcharo, "Perspectives on monoclonal antibody therapy as potential therapeutic intervention for Coronavirus disease-19 (COVID-19)," *Asian Pacific journal of allergy and immunology*, 38(1), pp. 10–18, 2020.
- [2] S. Kannan, A. S. Syed, P. A. Sheeza, and K. Hemalatha, "COVID-19 (Novel Coronavirus 2019) - recent trends," *European review for medical and pharmacological sciences*, 24: 2006–2011, 2020.
- [3] L.E. Gralinski, V.D. Menachery, "Return of the coronavirus: 2019-nCoV," *Viruses*, 102(135), 2020.
- [4] W.G. Carlos, C.S.D. Cruz, B. Cao, S. Pasnick, S. Jamil, "Novel Wuhan (2019-nCoV) coronavirus," *Am J Respir Crit Care Med*, 201:P7–P8, 2020.
- [5] P. Boldog, T. Tekeli, Z. Vizi, A. Dénex, F.A. Bartha, and G. Röst, "Risk assessment of novel coronavirus COVID-19 outbreaks outside China," *Journal of Clinical Medicine*, 9(2), pp. 571, 2020.
- [6] M. McAleer, "Prevention is better than the cure: Risk management of COVID-19," *Journal of Risk and Financial Management*, 13(3), pp. 46,

- 2020.
- [7] NPR, "Chinese authorities begin quarantine of Wuhan City as Coronavirus cases multiply," [Online]. Available: <https://www.npr.org/2020/01/23/798789671/chinese-authorities-begin-quarantine-of-wuhan-city-as-coronavirus-cases-multiply>. Accessed on: May, 8, 2020.
- [8] W.C.C. Cheng, S.C. Wong, K.K.W. To, P.I. Ho, K.Y. Yuen, "Preparedness and proactive infection control measures against the emerging Wuhan Coronavirus pneumonia in China," *J Hosp Infect*, 104(3), pp. 254-255, 2020.
- [9] L.O. Gostin and L.F. Wiley, "Governmental public health powers during the COVID-19 pandemic – stay-at-home orders, business closures, and travel," *Journal of the American Medical Association*, to be published. DOI: 10.1001/jama.2020.5460.
- [10] M.R. Mehra, S.S. Desai, F. Ruschitzka, A. N. Patel, "Hydroxychloroquine or chloroquine with or without a macrolide for treatment of COVID-19: a multinational registry analysis," *The Lancet*, to be published. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31180-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31180-6).
- [11] A.R. Feinstein, "The pre-therapeutic classification of co-morbidity in chronic disease". *J Chronic Dis*, 23, pp. 455-468, 1970.
- [12] M. Fortin, M. Stewart, M.E. Poitras, J. Almirall, H. Maddocks, "A systematic review of prevalence studies on multimorbidity: Toward a more uniform methodology," *Ann Fam Medicine*, 10, pp.142-51, 2012.
- [13] INEGI, *Mujeres y Hombres en México 2019*. México, pp.275.
- [14] I. Campos-Nonato, L. Hernández-Barrera, A. Pedroza-Tobías, C. Medina, S. Barquera, "Hipertensión arterial en adultos mexicanos: prevalencia, diagnóstico y tipo de tratamiento," *Salud Pública de México*, 60(3), pp.233-243, 2018.
- [15] INEGI, "Características de las defunciones registradas en México durante 2018," comunicado de prensa núm.538/19, 31 de octubre de 2019 pp. 1-3.
- [16] N. Robles, J. Ramón, "Enfermedades No Transmisibles Situación y Propuestas de Acción: Una Perspectiva desde la Experiencia de México," Secretaría de Salud, 2018.
- [17] GOB, Bases de datos históricas COVID-19. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-bases-historicas-direccion-general-de-epidemiologia>, consultada 06/05/2020.
- [18] A.H. Goodall, R.Mc. Cabe, C. Wierst, "Why we need an NHS COVID-19 Risk Calculator," *CASS Business School*, May, 2020.
- [19] Google, "Coronavirus (COVID 19)," <https://news.google.com/covid19/map?hl=es-419&gl=MX>. consultada 24/05/2020.
- [20] CONACYT, CentroGeo, GeoInt, DataLab, "COVID-19 México," <https://coronavirus.gob.mx/datos/>, consultada 20/05/2020.
- [21] UNAM, "COVID-19 Comorbilidades de las defunciones," <https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/73880e59efc14359abfb281d6aafb9f5>, consultada 20/05/2020.
- [22] UniversidadLaSalleMéxico, "Plataforma para el monitoreo y pronóstico de la evolución del COVID-19 en México utilizando Inteligencia Artificial," <http://monitoreocovid.lasalle.mx/#Pronostico>, consultada 20/05/2020.
- [23] GIRH, "Calculation Tool For Predicting Critical-ill COVID-19 At Admission," <http://118.126.104.170/>, consultado 20/05/2020.
- [24] Brescia-COVID Group, "Brescia-COVID Respiratory Severity Scale (BCRSS)/Algorithm," <https://www.mdcalc.com/brescia-covid-respiratory-severity-scale-bcrss-algorithm#creator-insights>, consultada 20/05/2020.
- [25] Nexoid Reino Unido, "COVID-19 (Coronavirus) Calculadora de supervivencia," <https://www.covid19survivalcalculator.com/calculator>, consultada 20/04/2020.
- [26] B. Mammon, "COVID-19 Prognostic Tool," https://qxmd.com/calculate/calculator_731/covid-19-prognostic-tool, consultada
- [27] IMSS, "Calculadora de complicación de salud por COVID-19," <http://www.imss.gob.mx/covid-19/calculadora-complicaciones>, consultada
- [28] J. Yang, "Prevalence of comorbidities and its effects in patients infected with SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis," *International journal of infectious*, 94, 91–95.
- [29] W.J. Guan, "China Medical Treatment Expert Group for COVID-19 (2020). Comorbidity and its impact on 1590 patients with COVID-19 in China: a nationwide analysis," *The European respiratory journal*, 55(5),

2000547.

- [30] W. Liang, "Development and Validation of a Clinical Risk Score to Predict the Occurrence of Critical Illness in Hospitalized Patients With COVID-19," *JAMA Intern Med.* to be published. DOI:10.1001/jamainternmed.2020.2033.
- [31] V. Offeddu, C.F. Yung, M.S.F. Low, and C.C. Tam, "Effectiveness of Masks and Respirators Against Respiratory Infections in Healthcare Workers: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Clin Infect Dis*, 65(11), pp. 1934–1942, 2017.
- [32] M. D'Arienza, A. Coniglio, "Assessment of the SARS-CoV-2 basic reproduction number, R0, based on the early phase of COVID-19 outbreak in Italy," *Biosafety and Health* 2, pp. 57–59, 2020.
- [33] H.S. Badr, H. Du, M. Marshall, E. Dong, M.M. Squire, L.M. Gardner, "Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study," *Lancet Infect Dis*. Pp. 1-8, 2020.
- [34] V. Suárez, M. Suarez Quezada, S. Oros Ruiz, and E. Ronquillo De Jesús, "Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020," *Revista Clinica Española*, S0014-2565(20)30144-2.
- [35] L. Fang, G. Karakiulakis, and M. Roth, "Are patients with hypertension and diabetes mellitus at increased risk for COVID-19 infection?," *The Lancet*, 8, 2020.
- [36] M.S. Warren and S.W. Skillman, "Mobility Changes in Response to COVID-19," arXiv:2003.14228 [cs.SI], 2020. arxiv.org/abs/2003.14228.
- [37] A. Aloil, "Effects of the COVID-19 Lockdown on Urban Mobility: Empirical Evidence from the City of Santander (Spain)," *Sustainability*, MDPI, Open Access Journal, vol. 12(9), pp. 1-18, May.
- [38] A. Lasry, "Timing of Community Mitigation and Changes in Reported COVID-19 and Community Mobility — Four U.S. Metropolitan Areas, February 26–April 1, 2020," *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(15), pp. 451–457, 2020.
- [39] N. López-Olmedo, "Revisión rápida: probabilidad de contagio por infecciones respiratorias agudas en el transporte público y medidas para mitigarlo," 2020. doi.org/10.21149/11601.
- [40] M.U.G. Kraemer, "The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China," *Science*, 368(6490) 493-497, 2020.
- [41] H.S. Badr, H. Du, M. Marshall, E. Dong, M.M. Squire, L.M. Gardner, "Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study," *Lancet Infect Dis*. Jul. 2020. doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30553-3.
- [42] M. Chinazzi, "The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak," *Science* 24 Apr 2020: vol. 368, Issue 6489, pp. 395-400. DOI: 10.1126/science.aba9757.



Rafael Martínez Peláez es Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña e Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad del Valle de México en 2010 y 2003, respectivamente. Actualmente, es Profesor Investigador de Tiempo Completo en la Universidad De La Salle Bajío y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (S.N.I.) con el

nombramiento de Nivel 1. Es coautor de más de cincuenta artículos científicos publicados en revistas y congresos.



Josué Roberto Bermeo Escalona se graduó como Cirujano Dentista de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) en 2007. En 2013 como Doctor en Ciencias de la Salud por la Facultad de Medicina de la misma Universidad y fue investigador asistente en la Escuela de Odontología de la

Universidad Asahi, en Japón. A partir de 2017 es Profesor

Investigador de Tiempo Completo en la Universidad De La Salle Bajío y miembro de la Sociedad Mexicana de investigadores en Odontología.



José Luis Ayala Herrera es Doctor en Ciencias Biomédicas Básicas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2017, México). Profesor investigador de tiempo completo en la Universidad De La Salle Bajío. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores con el nombramiento de candidato a investigador nacional. Recientemente reconocido como

miembro de la Sociedad Mexicana de investigadores en Odontología.



Solange Ivette Rivera Manrique estudió en 2007 Ingeniería Biónica en el Instituto Politécnico Nacional. Maestría y Doctorado en Tecnologías Avanzadas por el Instituto Politécnico Nacional en 2011 y 2017 respectivamente. Actualmente es Profesora Investigadora en la Universidad de La Salle Bajío. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con el

nombramiento de candidato a investigador nacional.



Abraham Sánchez Ruiz es Licenciado en sociología UAM-Azc 2002, Maestro en Gobierno, Gestión y Democracia 2007, Doctor en Ciencias Sociales UAEH 2015. Profesor-Investigador de Tiempo Completo en la Universidad De La Salle Bajío, Campus Salamanca en el área de Constitucionalismo, Ciencias Jurídicas y Derechos Humanos. Miembro del Sistema

Nacional de Investigadores del CONACYT nivel C.



Liliana Carolina Córdova Albores es Ingeniero Biotecnólogo egresada de la Universidad Autónoma de Chiapas, obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Manejo Agroecológico de Plagas y Enfermedades y el Doctorado en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, del Instituto Politécnico

Nacional. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad DeLaSalle Bajío. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Vicente García Jiménez es profesor de tiempo completo desde el 2014 en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Es Ingeniero en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Villahermosa y cuenta con una maestría en ciencias computacionales por el Instituto

Tecnológico de Toluca. En el 2010 obtuvo el título de Doctor en Sistemas Informáticos Avanzados por la Universitat Jaume I de Castellón de la Plana, España. Es miembro IEEE, ACM, y de la Academia Mexicana de Computación. Es autor o coautor de artículos en revistas de reconocido prestigio. Sus temas de interés son: clasificación, preprocesamiento de los datos, sistemas múltiples de clasificación, complejidad de los datos, clases no balanceadas, big data y minería de redes sociales.