



ORIGINAL

Statistical analysis and decision trees to identify risk factors in the Mexican population due to COVID-19 pandemic

Análisis estadístico y árboles de decisión para identificar factores de riesgo en la población mexicana por la pandemia de COVID-19

Itzel Paola Cervera Arguelles¹  , Hermilo Sánchez Cruz¹  

¹Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Ciencias de la Computación. Aguascalientes, México.

Citar como: Cervera Arguelles IP, Sánchez Cruz H. Statistical analysis and decision trees to identify risk factors in the Mexican population due to COVID-19 pandemic. Salud, Ciencia y Tecnología. 2024; 4:790. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2024790>

Recibido: 15-11-2023

Revisado: 28-02-2024

Aceptado: 06-05-2024

Publicado: 07-05-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

ABSTRACT

Introduction: the COVID-19 pandemic caused by the new SARS-CoV-2 virus was a big challenge to the world and was responsible for a vast number of deaths in a brief period; one of the countries with the greatest number of deaths was México. For this reason, studying this emergency is crucial.

Objective: study and compare the available statistics for Mexico about the COVID-19 pandemic and build a machine learning model that helps to identify the risk factors of the Mexican population.

Methods: this research is structured into three sections. Firstly, a worldwide and national statistical analysis, then a decision tree-based model, and lastly, research about the results of the vaccination campaign. Different databases were used to fulfill the objectives of each section.

Results: with international information, the number of cases and deaths were studied for a group of countries; in addition, this study compared daily cases and deceases in México, Colombia, and Spain. The national data was used to obtain different statistics and a decision tree-based model. For the vaccination campaign, various statistics were gathered.

Conclusions: even though international statistics did not help determine if comorbidities had a significant effect on deceases, national statistics indicate that they were a risk factor for passing away due to COVID-19. Similarly, the decision tree model indicated that hospitalization was a common characteristic among deceased people. For the vaccination campaign, the lack of data was a problem in identifying the role this event had in the development of the pandemic; nevertheless, the international surveillance systems received an exceptional number of reports about adverse events; for this reason, each person should decide if they need a vaccine.

Keywords: COVID-19 in México; Statistics; Decision Trees; Risk Factors; Vaccination.

RESUMEN

Introducción: la pandemia de COVID-19 causada por el nuevo virus SARS-CoV-2 representó grandes retos a nivel mundial y provocó un número considerable de defunciones en poco tiempo, siendo México uno de los países más afectados a nivel mundial.

Objetivo: estudiar y comparar las estadísticas disponibles de México respecto a la pandemia de COVID-19 y desarrollar un modelo de aprendizaje de máquina que permita identificar los factores de riesgo más importantes para la población mexicana.

Métodos: se consideraron tres partes para este estudio, un análisis de estadísticas a nivel mundial y nacional, la construcción de un modelo de árboles de decisión y la investigación de los resultados obtenidos de la campaña de vacunación mundial. Para esto, se utilizaron diferentes bases de datos.

Resultados: se obtuvieron gráficas para conocer el número de casos y defunciones en un grupo de países, y específicamente se compararon las estadísticas de casos y defunciones diarias entre México, Colombia y

España. Para el caso nacional se obtuvieron algunas estadísticas y con los datos utilizados se construyó un modelo de árboles de decisión. De forma similar, para la campaña de vacunación se obtuvieron estadísticas varias.

Conclusiones: si bien las estadísticas mundiales no permitieron conocer el impacto de factores como comorbilidades, las estadísticas nacionales indicaron que si tienen un rol importante en la alta mortalidad del país, igualmente, el árbol de decisión indicó que la hospitalización es una característica común entre los fallecidos. Por último, la falta de datos respecto a la vacunación dificultó conocer si ayudaron de la manera esperada, no obstante, a nivel internacional se han dado a conocer un número muy elevado de reportes de efectos adversos por lo cual es importante que cada persona valore su situación.

Palabras clave: COVID-19 en México; Estadísticas; Árboles de Decisión; Factores de Riesgo; Vacunación.

INTRODUCCIÓN

Las pandemias no son un problema nuevo para la humanidad, no obstante, la más reciente causada por el virus SARS-CoV-2 ha implicado retos muy grandes para la población mundial desde que se detectó el primer brote en la ciudad de Wuhan, China el 17 de noviembre del 2019. A partir de ese momento, el virus se expandió alrededor del mundo causando que la Organización Mundial de la Salud tuviera que emitir una alerta sanitaria en marzo del 2020. Este virus altamente contagioso a casi cuatro años de su primer caso ha registrado un total de 771,5 millones de contagios y 7,9 millones de defunciones en el mundo.^(1,2)

La COVID-19 es una enfermedad infecciosa causada por este virus que afecta las vías respiratorias de las personas y en la mayoría de los casos se presenta como una enfermedad respiratoria de leve a moderada, sin embargo, un porcentaje considerable de personas desarrollan una enfermedad grave que podrá representar la muerte.⁽³⁾

Una característica importante de esta emergencia sanitaria fue el uso de diferentes vacunas para prevenir casos graves y defunciones. Si bien, el proceso de desarrollo de una vacuna es muy complejo y puede llegar a tardar hasta 10 años en concluir, en esta ocasión fue posible obtener las vacunas en menos de un año gracias a un protocolo que permitió avanzar a etapas superiores aún sin concluir las iniciales; una vez concluido el proceso de desarrollo de las vacunas fue necesario implementar un permiso de uso de emergencia para que las que cumplieran con las características de seguridad y efectividad solicitadas pudieran ser aplicadas en el mundo.^(4,5,6,7)

Una vez que las vacunas comienzan a aplicarse a la población en general es necesario contar con un registro que indique los efectos adversos que se presentan después de aplicarlas. A estos registros se les denomina sistemas de vigilancia y, aunque no pueden usarse para establecer una relación entre efectos adversos y una vacuna, pueden tomarse como base para realizar los estudios adecuados que si permitan establecer esta relación. A nivel mundial destacan tres por el área que cubren: VigiAccess,⁽⁸⁾ VAERS⁽⁹⁾ y EudraVigilance⁽¹⁰⁾ y se encargan de los registros de 180 países afiliados a la OMS, Estados Unidos y el Espacio Económico Europeo respectivamente.

Panorama en México

A nivel nacional, el primer caso se registró el 27 de febrero de 2020 y para finales de octubre de 2023 se registraban un total de 7,69 millones de contagios y 334 727 defunciones, dejando a México como el 5° lugar en defunciones en el mundo después de Estados Unidos (1,13 millones), Brasil (702 664), India (531 870) y Rusia (399 057); cabe resaltar que todos estos países presentaron más de tres veces el número de contagios observado en México. Tomando como referencia la información publicada por el INEGI, se reportó que las defunciones por COVID-19 causaron un aumento importante en la tasa de mortalidad del país de 59 a 86 defunciones por cada 10 000 habitantes en el año 2020 y de 88 para el 2021, siendo las personas de sexo masculino y las personas de entre 35 y 64 años los grupos más afectados. Estas estadísticas colocaron a la COVID-19 como la segunda enfermedad con más número de defunciones en 2020 y la primera en 2021 superando a las enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus.^(11,12)

Además de la campaña de aislamiento voluntario y de las medidas de protección como el uso de cubrebocas y gel antibacterial, en México se implementó una campaña de vacunación en la que se otorgaron 8 permisos de emergencia y se siguió un calendario con el cual se esperaba inmunizar a la población mayor de 18 años entre febrero del 2021 y marzo del 2022. El primer grupo inmunizado fue el personal de salud y recibieron la primera dosis a partir de diciembre de 2020 y para octubre del 2022 se reportaba que un 76 % de la población mexicana había completado el esquema inicial de vacunación de dos dosis.^(13,14)

Objetivo

En este estudio se busca utilizar la información disponible acerca de la pandemia de COVID-19 en México y el mundo para conocer los factores de riesgo presentes en los países con mayor número de defunciones, así como el impacto que tuvo la campaña de vacunación a nivel mundial. Específicamente, se busca aprovechar las técnicas disponibles de aprendizaje de máquina para crear un modelo específico de México que pueda identificar los factores de riesgo para fallecer por COVID-19 de la población mexicana.

MÉTODOS

Esta investigación se compone de tres estudios diferentes. El primero de ellos corresponde a un estudio descriptivo para conocer los resultados estadísticos disponibles de la pandemia para una lista de países de interés; con los datos exclusivos de México obtenidos en la primera parte, se realizó un análisis que permitiera establecer una correlación entre factores de riesgo y defunciones en el país. Por último, para determinar el impacto que tuvieron las vacunas se realizó un estudio documental que permitiera conocer los efectos que estas han tenido alrededor del mundo.

La información necesaria para el análisis estadístico se obtuvo de las bases de datos Our World in Data (OWID)^(15,16,17) y Datos Abiertos⁽¹⁸⁾ del Gobierno de México; es necesario remarcar que ambas brindan información diferente por lo que fue necesario determinar las aplicaciones de cada una. En el caso de los datos proporcionados por OWID se tiene la información oficial publicada por los gobiernos de 200 países para las variables relacionadas a casos, defunciones, pruebas, vacunación, atenciones médicas, entre otras más generales como mediana de edad de la población, comorbilidades y población total del país. Por el contrario, la base de datos publicada por el Gobierno de México presentaba la información de todas las personas que acudieron a realizarse un estudio para determinar si estaban contagiados de COVID-19 y las variables incluidas muestran información respecto a edad, nacionalidad, estado de residencia, comorbilidades, diagnóstico, avance de la enfermedad y fecha de defunción.

Para el caso de la vacunación la información se recopiló de publicaciones realizadas por periódicos e instituciones relevantes, además de estudios realizados en diversos países. En el caso de México la información disponible resultó muy limitada por lo que se realizó una solicitud de acceso a la información para conocer las estadísticas correspondientes a personas vacunadas que han fallecido; como resultado de esta solicitud de acceso a la información (folio: 330026923002342) se obtuvo una base de datos con información respecto al sexo, edad y vacuna recibida.

Debido al volumen de información disponible fue necesario realizar un preprocesamiento de los datos que permitiera eliminar aquellos que fueran irrelevantes o estuvieran equivocados, además de identificar el uso adecuado para cada base de datos. Para la información de OWID primero fue necesario determinar un grupo de países de interés y después seleccionar las variables relevantes; esto redujo la información de 238 967 registros por 67 variables a 41 registros por 18 variables. En el caso de los datos publicados por el Gobierno de México se conservaron únicamente 18 de las 40 variables originales y 7 millones de registros de los 18,7 millones que estaban originalmente. Finalmente, para la base de datos correspondiente a la vacunación solo fue necesario eliminar dos variables y cuatro registros terminando así con una base de datos de solo 3 variables y 20 746 registros.

Ahora bien, en los tres casos la selección de variables se realizó considerando aquellas que brindaran información puntual de acuerdo con el objetivo asignado a cada base de datos. Para la base de datos correspondiente a la vacunación las variables que se conservaron fueron edad, sexo y vacuna recibida; en el caso de la información de Gobierno de México se conservaron las variables relacionadas a la edad, sexo, comorbilidades, avance de la enfermedad y si las personas sobrevivieron o no. En ambos casos los registros eliminados fueron aquellos con información incompleta, ambigua o errónea.

Para OWID se consideraron las variables casos y defunciones diarias y totales, pruebas totales realizadas, población que ha recibido una dosis de alguna vacuna, que ha completado el esquema original de vacunación y que ha recibido algún refuerzo; de igual forma, se conservaron las variables más generales como mediana de edad de la población, población total, prevalencia de diabetes y mortalidad por enfermedades cardiovasculares y además se crearon dos variables nuevas que ayudaron a seleccionar a los países que integran el grupo de interés. Para reducir los registros se conservaron únicamente los que correspondían a los países de interés. Este grupo de países se determinó considerando que cumplieran con alguna de las siguientes características: disponibilidad de datos para las variables de interés, un resultado elevado o bajo para las variables de letalidad o mortalidad, campañas estrictas de medidas de protección, pruebas o vacunación, población elevada para su continente.

Al terminar este proceso de adecuación de los datos se recurrió al software R y a lenguaje Python para obtener los resultados necesarios. A través de los datos de OWID fue posible graficar los valores de casos y defunciones totales para los países de la lista de interés; mediante estos mismos datos se compararon los casos específicos de México, Colombia y España. Ahora bien, los datos publicados por Gobierno de México

permitieron conocer estadísticas anuales relacionadas a los casos, defunciones, hospitalizaciones, pacientes que requirieron intubación, que visitaron UCI o que desarrollaron neumonía y además fueron utilizados para la creación de un modelo de aprendizaje basado en árboles de decisión para predecir si una persona va a fallecer por COVID-19 dependiendo de sus comorbilidades y lo avanzado de su enfermedad.

Por último, es necesario resaltar que la información que se maneja en este estudio puede ser encontrada en bases de datos públicas y por lo tanto no se maneja información que vulnere la privacidad de las personas. Para el caso de la información correspondiente a los efectos adversos de las vacunas es necesario aclarar que, siguiendo las indicaciones de los sistemas de vigilancia, no se utilizan para determinar la relación entre dichos efectos y las vacunas por lo cual únicamente se utilizan como una estadística.

RESULTADOS

Estadísticas mundiales

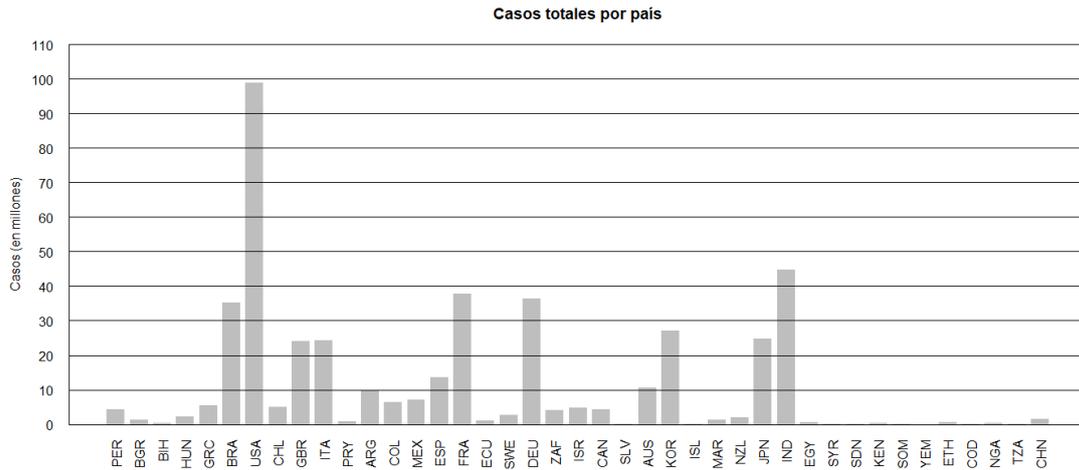


Figura 1. Casos totales registrados por país
Fuente: Elaboración propia utilizando datos de OWID⁽¹⁵⁾

De la lista de países de interés se obtuvieron inicialmente las gráficas de barras correspondientes a los casos y defunciones totales registradas, figuras 1 y 2 respectivamente, desde que apareció el primer caso hasta finales de noviembre de 2022. Es importante resaltar que los países se encuentran ordenados de acuerdo con el valor de mortalidad calculado a partir de la información de la base de datos de OWID.

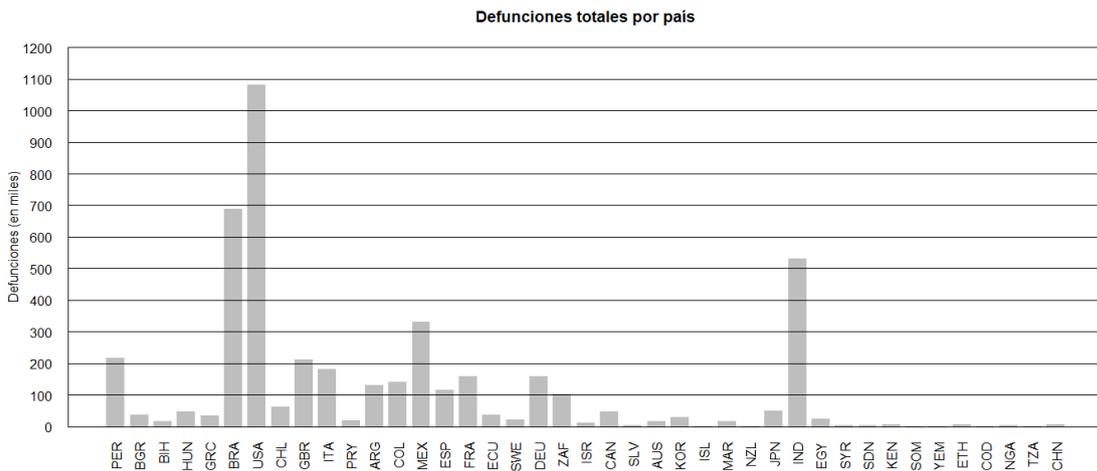


Figura 2. Defunciones totales registradas por país
Fuente: Elaboración propia utilizando datos de OWID⁽¹⁵⁾

Mediante estas gráficas es posible observar como el número de casos no es un indicador confiable del impacto que esta enfermedad tuvo en cada país, ya que, los países con más casos no están en los primeros lugares de mortalidad. A través de estas graficas es posible observar que la relación entre casos y defunciones se mantiene para casi todos los países de esta lista, siendo Perú y México las principales excepciones a este caso; en ambos casos esta observación es relevante ya podría indicar que estos países tuvieron campañas de

aplicación de pruebas COVID-19 deficientes o que existe un factor de riesgo que afecta a las poblaciones de estos países.

Ahora bien, para observar más específicamente este efecto en los datos de México se elaboraron las figuras 3 y 4, las cuales muestran las gráficas correspondientes a las curvas de contagios y defunciones diarias en México, Colombia y España.

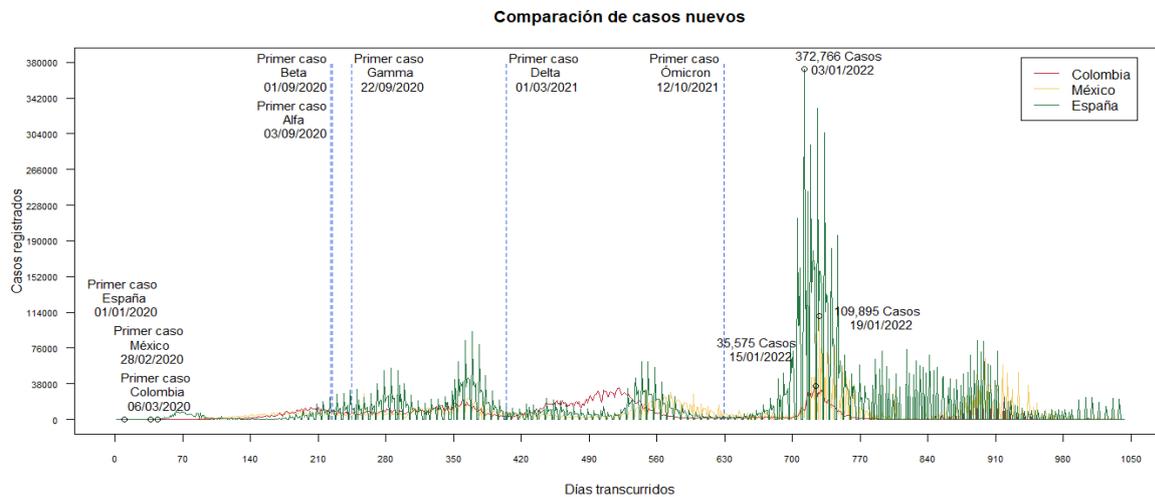


Figura 3. Comparación entre los casos diarios registrados en México, Colombia y España

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de OWID⁽¹⁵⁾

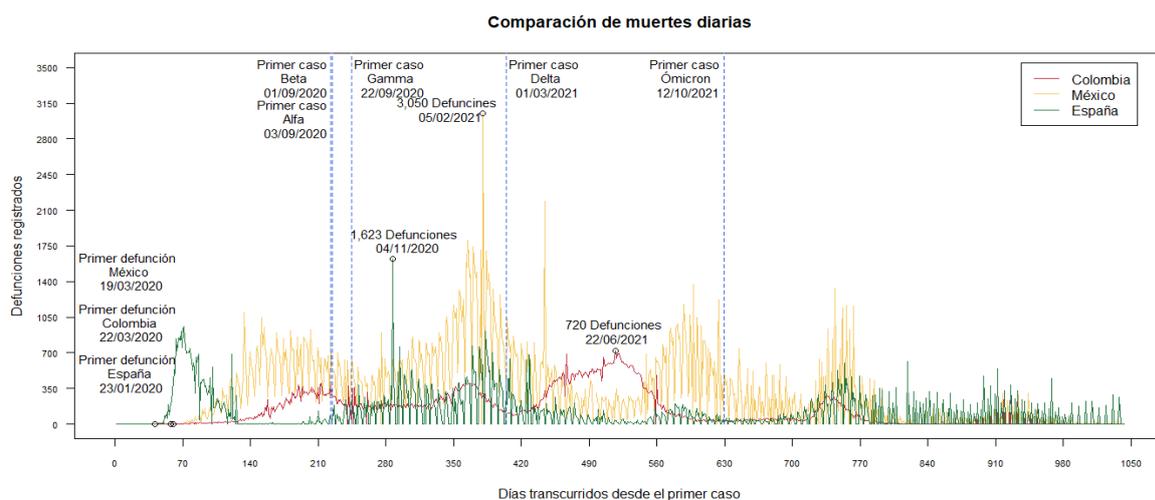


Figura 4. Comparación entre las defunciones diarias en México, Colombia y España

Fuente: Elaboración propia utilizando datos de OWID⁽¹⁵⁾

Para estas graficas se consideraron los países con las mortalidades más cercanas a México, en este caso Colombia y España. Es posible observar como la curva de contagios correspondiente a España es mayor a la correspondiente a México y Colombia, no obstante, para la curva de defunciones se observa que la registrada para México es mayor. A través de estas graficas también se observa que los picos de defunciones sucedieron cuando las primeras variantes estaban en circulación, mientras que, los picos de contagios ocurrieron con la variante Delta; esto debido a los cambios que experimentó el virus a lo largo de los primeros años de la pandemia.

Estadísticas nacionales y árbol de decisión

De acuerdo con los datos obtenidos a través de los Datos Abiertos de Gobierno de México,⁽¹⁸⁾ para finales de 2022 se habían registrado 7 003 759 casos positivos de los cuales 692 986 fueron hospitalizados, 506 015 desarrollaron neumonía, 82 750 fueron intubados y 52 389 fueron ingresados a la unidad de cuidados intensivos. En el caso de las defunciones se contabilizaron 322 428 en esta base de datos.

Mediante esta base de datos se resalta que el 49,58 % de las defunciones ocurrieron durante el primer año

de la pandemia, mientras que, en el 2022 solamente ocurrieron el 7,49 %. Esto se mantiene para las personas hospitalizadas, intubadas e ingresadas a UCI.

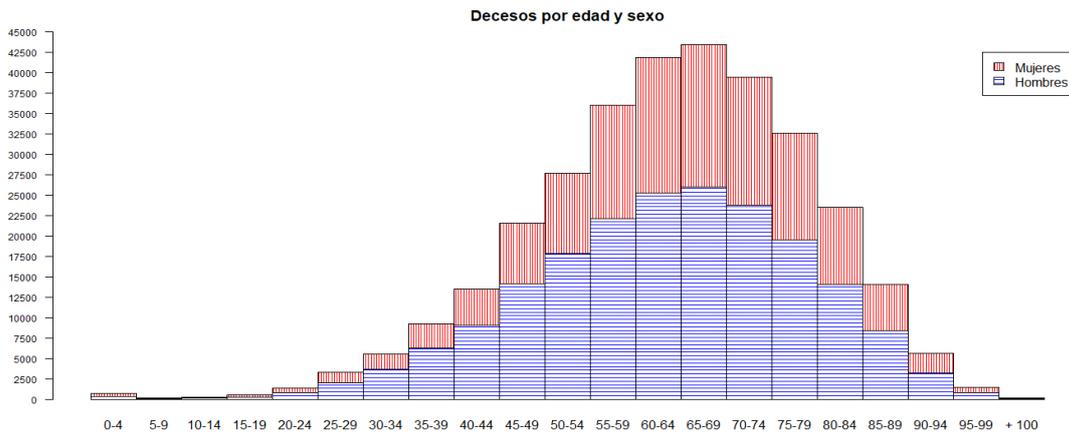


Figura 5. Defunciones por sexo y grupo de edad
Fuente: Elaboración propia utilizando Datos Abiertos⁽¹⁸⁾

Sobre la población en riesgo, las estadísticas indican que el mayor número de defunciones corresponde a personas de sexo masculino y a los grupos de edad más avanzada, como se muestra en la figura 5.

Se observó que las comorbilidades más comunes entre las personas fallecidas fueron la hipertensión (44,39 %), diabetes (36,89 %) y obesidad (20,5 %), en tanto que los embarazos (0,11 %), asma (1,69 %) e inmunosupresión (2,32 %) fueron los menos comunes.

El árbol de decisión construido consideró los siguientes parámetros: un límite de 80 hojas, un mínimo del 1 % de muestras para formar una hoja y las variables sexo, edad, comorbilidades excepto asma y tabaquismo, neumonía, intubados, hospitalizados e ingresados a UCI. El resultado fue un árbol de decisión con 54 hojas y una profundidad de 11 nodos; las métricas indicaron 95,61 % de exactitud, 97,98 % de precisión, 93,15 % de exhaustividad y 95,50 % para el valor F1. Una versión simplificada del modelo se muestra en la figura 6.

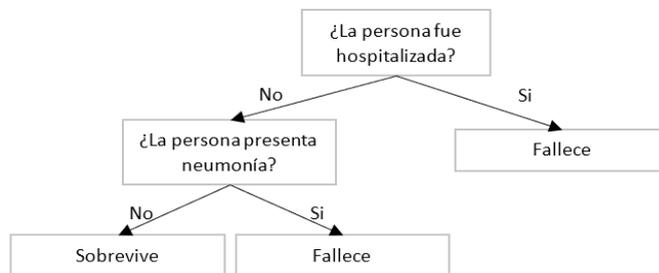


Figura 6. Árbol de decisión simplificado
Fuente: Elaboración propia utilizando Datos Abiertos⁽¹⁸⁾

Mediante el modelo anterior, es posible observar como la variable que tiene mayor relación con la defunción por COVID-19 es el ser hospitalizado, seguido por desarrollar neumonía. Si bien en este modelo las comorbilidades no aparecen como un factor de riesgo, las estadísticas obtenidas mediante los Datos Abiertos indican que aproximadamente un 70 % de las personas fallecidas tenían al menos una comorbilidad.

Campaña de vacunación

Los sistemas de vigilancia actuales utilizados para monitorear los reportes de efectos adversos pueden recibir reportes de prácticamente cualquier persona por lo cual, como lo indican al ingresar a las plataformas, estos reportes únicamente sirven como estadística y para iniciar estudios sobre estos efectos.^(8,9,10)

Para el caso específico de las vacunas disponibles para la COVID-19 se observó que el sistema VigiAccess⁽⁸⁾ había recibido 4 949 624 reportes a inicios del 2023. En el caso de VAERS⁽⁹⁾ se tenía un total de 1 533 588, mientras que, el sistema de vigilancia EudraVigilance,⁽¹⁰⁾ reportaba 2 219 201 efectos adversos. Si bien la mayoría de los efectos reportados fueron leves, hubo un porcentaje de personas que reportaron efectos graves que requirieron tratamiento y en algunos casos causaron defunciones. Por lo cual, se han realizado estudios para establecer una relación entre estos casos y las vacunas que recibieron las personas.

Uno de los eventos adversos severos más estudiados corresponde a la aparición de miocarditis y pericarditis

después de la aplicación de alguna vacuna de ARN mensajero. Diversos estudios en el mundo coinciden en que es un efecto adverso que se presenta en hombres jóvenes y que es más común después de la segunda dosis de la vacuna Pfizer. Otro ejemplo es el caso de la aparición de coágulos sanguíneos después de la aplicación de la vacuna de AstraZeneca; cabe resaltar que este efecto se presenta principalmente en mujeres jóvenes.^(19,20,21,22)

A nivel nacional no se realiza un seguimiento de los efectos adversos causados por las vacunas, por lo que no se conoce si estos efectos adversos se presentan con la misma frecuencia. La información disponible indica que las vacunas más aplicadas en México fueron AstraZeneca, Pfizer y SinoVac con 54,78, 53,49 y 18,6 millones de dosis respectivamente.⁽²³⁾ Como resultado de la solicitud de acceso a la información, se observó que del grupo de personas que fallecieron por COVID-19 los más afectados fueron los hombres, las personas mayores de 60 años y los que recibieron las vacunas Pfizer o AstraZeneca.

DISCUSIÓN

Con la aparición de este nuevo virus se comenzó la investigación correspondiente a los factores que podrían complicar el desarrollo de esta enfermedad. Los primeros estudios realizados indican que comorbilidades como hipertensión, diabetes, obesidad, inmunosupresión, enfermedades renales, cardiovasculares y respiratorias, además de factores como la edad y el sexo son responsables que un resultado grave tras resultar positivo a la COVID-19.^(24,25,26,27,28) Esta información concuerda con lo observado en las estadísticas de defunciones en México ya que la mayoría de las personas padecía al menos una de las comorbilidades mencionadas en el estudio.

Sobre el modelo de aprendizaje, un ejercicio similar fue desarrollado en la Universidad Veracruzana y, en este caso, los resultados indicaron que los principales factores de riesgo para fallecer por COVID-19 era obtener un resultado positivo a la enfermedad y ser hospitalizado.⁽²⁹⁾ En este caso, se observa una diferencia con el modelo desarrollado en este estudio ya que no se considera la variable de diagnóstico y únicamente se consideran las variables que pueden influir en el avance de la enfermedad.

Ahora bien, aunque es algo esperado que una vacuna presente efectos adversos los reportes recibidos en los sistemas de vigilancia son mucho mayores a los de cualquier otra vacuna.^(8,9,10) Esta situación puede ser causada por muchos factores, por lo cual, alrededor del mundo se han realizado diversos estudios para poder determinar la relación que existe entre las vacunas y los efectos adversos reportados.

Uno de los efectos adversos más estudiados es la aparición de miocarditis y pericarditis en hombres jóvenes después de recibir alguna vacuna de ARN mensajero. Para este caso, en Corea del Sur se observó que de manera general aparecen 1,08 casos por cada 100 000 vacunados, mientras que en el caso específico de los varones esta cifra sube hasta 1,35 casos; igualmente se observa que la incidencia aumenta cuando la persona es más joven, por ejemplo, en el caso específico de los hombres entre 12 y 17 años se observó una incidencia de 5,29 casos.⁽³⁰⁾ En Estados Unidos se observó una cifra de 12,6 casos por cada millón de personas vacunadas e igualmente se especifica que la población más afectada son los hombres jóvenes, además concluir que solamente 323 de los 1226 casos de miocarditis o pericarditis reportados a VAERS cumplen con la definición de la enfermedad.⁽²⁰⁾

Finalmente, un estudio más reciente publicado a inicios de 2024 muestra la relación entre casos esperados y observados tomando como referencia información de más de 99 millones de individuos de todo el mundo. En este estudio se concluye que tras la aplicación de las vacunas se ha observado un aumento en la aparición de ciertas enfermedades como son el Síndrome de Guillain-Barré, la encefalomiелitis aguda diseminada, trombosis del seno venoso cerebral, miocarditis y pericarditis; cabe resaltar que, aunque las cifras no son elevadas son suficientes casos para que estas enfermedades sean incluidas como efectos adversos raros por las farmacéuticas.⁽³¹⁾

CONCLUSIONES

A través de este estudio se observaron las estadísticas de casos y defunciones para un grupo de países de interés, y para el caso específico de México fue posible notar que el número de casos detectados no corresponde al número de defunciones cuando comparamos con otros países de la lista de interés. De manera general estas graficas no son suficientes para detectar factores de riesgo en común, por lo cual se estudia el caso específico de México.

Analizando las estadísticas nacionales y después de crear un modelo de aprendizaje de máquina basado en árboles de decisión es posible observar que los factores de riesgo de la población mexicana son la hospitalización, el desarrollar neumonía y la presencia de comorbilidades, este último factor presente en el 70 % de los fallecidos.

En el caso de la vacunación se sabe que la aparición de efectos adversos es algo esperado para un medicamento de este tipo, no obstante, en los sistemas de vigilancia se observa un número más elevado de reportes para esta nueva sustancia por lo cual se recomienda que cada individuo evalúe su situación y tome la decisión que sea más adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Se cumple un año del primer caso confirmado de Covid-19 en el mundo [Internet]. [citado el 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/noticias-se-cumple-un-ano-del-primer-caso->

de-coivd-19/

2. Suárez V, Suarez Quezada M, Oros Ruiz S, Ronquillo De Jesús E. Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. Rev Clin Esp [Internet]. 2020;220(8):463-463-71. Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=50014256520301442&site=eds-live>
3. OMS. Coronavirus [Internet]. [citado el 30 de abril de 2023]. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus#tab=tab_1
4. OMS. <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines/how-are-vaccines-developed>. ¿Cómo se desarrollan las vacunas?
5. Escobar Gutiérrez A. Vacunas, ciencia y salud. México: Secretaría de Salud; 1992. 9-25 p.
6. Dr. Alejandro Díaz Villalobos. Conferencia magistral “Pandemia y vacunas, lecciones aprendidas”, del 28 de febrero de 2023 [Internet]. México: Senado de México; 2023 [citado el 5 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=3NZSb02B53I>
7. COVID-19 Prevention Network. <https://espanol.coronaviruspreventionnetwork.org/rapidez-de-desarrollo-de-vacunas-covid19>. 2021. Vacunas contra la COVID-19:¿Cómo las conseguimos tan rápido?
8. OMS. VigiAccess [Internet]. [citado el 14 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.vigiaccess.org/>
9. VAERS. VAERS [Internet]. [citado el 14 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://vaers.hhs.gov/reporteventspan.html>
10. EMA. EudraVigilance [Internet]. [citado el 14 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.ema.europa.eu/en/humanregulatory/research-development/pharmacovigilance/eudravigilance>
11. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/mortalidad/doc/defunciones_registradas_2020_nota_tecnica.pdf. 2021. ESTADÍSTICA DE DEFUNCIONES REGISTRADAS 2020 (NOTA TÉCNICA).
12. INEGI. [inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/EDR/EDR2021_10.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/EDR/EDR2021_10.pdf). 2022. ESTADÍSTICAS DE DEFUNCIONES REGISTRADAS 2021.
13. Calendario de vacunación - Vacuna Covid [Internet]. [citado el 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://vacunacovid.gob.mx/wordpress/calendario-vacunacion/>
14. Gobierno de México. Información de la vacuna [Internet]. [citado el 18 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://vacunacovid.gob.mx/informacion-de-la-vacuna/>
15. Mathieu E. RHGO. Our World In Data. 2020 [citado el 28 de noviembre de 2022]. COVID-19 Data. Disponible en: <https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data>
16. Hasell J, Mathieu E, Beltekian D, Macdonald B, Giattino C, Ortiz-Ospina E, et al. A cross-country database of COVID-19 testing. Sci Data. el 8 de octubre de 2020;7(1).
17. Mathieu E, Ritchie H, Ortiz-Ospina E, Roser M, Hasell J, Appel C, et al. A global database of COVID-19 vaccinations. Nat Hum Behav. el 10 de mayo de 2021;5(7).
18. Dirección General de Epidemiología del Gobierno de México. Datos Abiertos [Internet]. 2020 [citado el 28 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
19. Dewan A, Greene RA. CNN en español. 2021 [citado el 30 de agosto de 2023]. Esto es lo que debes saber sobre el riesgo de coágulos de sangre y la vacuna de AstraZeneca contra el covid-19. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2021/04/03/esto-es-lo-que-debes-saber-sobre-el-riesgo-de-coagulos-de-sangre-y-la-vacuna-astrazeneca-trax/>
20. Bozkurt B, Kamat I, Hotez PJ. Myocarditis With COVID-19 mRNA Vaccines. Circulation. el 10 de agosto

de 2021;144(6).

21. Wallace M, Oliver S. COVID-19 mRNA vaccines in adolescents and young adults: Benefit-risk discussion. En CDC; 2021 [citado el 10 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/vaccines/acip/meetings/downloads/slides-2021-06/05-COVID-Wallace-508.pdf>

22. BBC. BBC. 2021 [citado el 30 de agosto de 2023]. AstraZeneca vaccine: Denmark stops rollout completely. Disponible en: <https://www.bbc.com/news/world-europe-56744474>

23. Escobar C. Serendipia. 2022 [citado el 30 de agosto de 2023]. ¿Cuál es la vacuna contra COVID-19 más aplicada en México? Disponible en: https://serendipia.digital/covid-19/vacuna-covid-mas-aplicada-en-mexico/#google_vignette

24. Moura EL de, Ferreira JM, Santos ACM dos, Silva DM da, Silva MLF da, Silva GKM de O, et al. Comorbidities increase the risk of severity and mortality in COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis. Research, Society and Development. el 25 de febrero de 2021;10(2).

25. Petrakis D, Margină D, Tsarouhas K, Tekos F, Stan M, Nikitovic D, et al. Obesity a risk factor for increased COVID 19 prevalence, severity and lethality (Review). Mol Med Rep. el 5 de mayo de 2020;22(1).

26. Noyola DE, Hermsillo-Arredondo N, Ramírez-Juárez C, Werge-Sánchez A. Association between obesity and diabetes prevalence and COVID-19 mortality in Mexico: an ecological study. The Journal of Infection in Developing Countries. el 31 de octubre de 2021;15(10).

27. Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. The Lancet. marzo de 2020;395(10229).

28. Bello-Chavolla OY, Bahena-López JP, Antonio-Villa NE, Vargas-Vázquez A, González-Díaz A, Márquez-Salinas A, et al. Predicting Mortality Due to SARS-CoV-2: A Mechanistic Score Relating Obesity and Diabetes to COVID-19 Outcomes in Mexico. J Clin Endocrinol Metab. el 1 de agosto de 2020;105(8).

29. Cruz-Ramírez N, Hoyos-Rivera G de J, Mestizo-Gutierrez SL, Tapia-McClung H. Data Science: A Useful Tool for Understanding SARS-CoV-2 Information Facts. En: Moving From COVID-19 Mathematical Models to Vaccine Design: Theory, Practice and Experiences. BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS; 2022.

30. Cho JY, Kim KH, Lee N, Cho SH, Kim SY, Kim EK, et al. COVID-19 vaccination-related myocarditis: a Korean nationwide study. Eur Heart J. el 25 de junio de 2023;44(24).

31. Faksova K, Walsh D, Jiang Y, Griffin J, Phillips A, Gentile A, et al. COVID-19 vaccines and adverse events of special interest: A multinational Global Vaccine Data Network (GVDN) cohort study of 99 million vaccinated individuals. Vaccine. abril de 2024;42(9).

FINANCIACIÓN

Mediante este espacio se agradece a CONAHCYT y a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por brindar el apoyo económico necesario para poder realizar esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Itzel Paola Cervera Arguelles, Hermilo Sánchez Cruz.

Curación de datos: Itzel Paola Cervera Arguelles.

Análisis formal: Itzel Paola Cervera Arguelles.

Investigación: Itzel Paola Cervera Arguelles.

Metodología: Itzel Paola Cervera Arguelles.

Redacción del borrador original: Itzel Paola Cervera Arguelles.

Supervisión: Hermilo Sánchez Cruz.

Validación: Hermilo Sánchez Cruz.

Revisión y edición: Hermilo Sánchez Cruz.