

José Esteban Fernández-Gárate^{1a}, Aide Jazmín González-Cruz^{1b}, Jorge Zenil-Pérez^{1c},
Ismael Seth Medina-Reyes^{1d}, Humberto Frances-Salgado^{1e}, Xóchitl Refugio Romero-Guerrero^{2f}

Resumen

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) desarrolló e implementó herramientas de monitoreo y modelación de la epidemia para apoyar la organización y planeación de la respuesta adecuada y oportuna a la emergencia sanitaria por COVID-19.

El objetivo de este trabajo es describir la metodología y los resultados de la herramienta de detección temprana de brotes denominada Alerta COVID-19.

Se desarrolló un semáforo de alertamiento temprano que utiliza análisis de series temporales, así como un método bayesiano de detección temprana de brotes a partir de los registros electrónicos sobre COVID-19 para casos sospechosos, confirmados, incapacidades, hospitalizaciones y defunciones.

A través de la Alerta COVID-19 se detectó oportunamente, con tres semanas de anticipación a la declaratoria oficial, el inicio de la quinta ola de COVID-19 en el IMSS.

El método propuesto está orientado a generar alertas tempranas ante el inicio de una nueva ola de COVID-19, monitorear la fase grave de la epidemia y apoyar la toma de decisiones al interior de la institución; a diferencia de otras herramientas que tienen un enfoque dirigido a la comunicación de riesgos a la comunidad.

Podemos concluir que la Alerta COVID-19 es una herramienta ágil que incorpora métodos robustos para la detección temprana de brotes.

Abstract

The Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) developed and implemented epidemic monitoring and modeling tools to support the organization and planning of an adequate and timely response to the COVID-19 health emergency.

The aim of this article is to describe the methodology and results of the early outbreak detection tool called COVID-19 Alert.

An early warning traffic light was developed that uses time series analysis and a Bayesian method of early detection of outbreaks from electronic records on COVID-19 for suspected cases, confirmed cases, disabilities, hospitalizations, and deaths.

Through Alerta COVID-19, the beginning of the fifth wave of COVID-19 in the IMSS was detected in a timely manner, three weeks before the official declaration.

The proposed method is aimed at generating early warnings before the start of a new wave of COVID-19, monitoring the serious phase of the epidemic, and supporting decision-making within the institution; unlike other tools that have an approach aimed at communicating risks to the community.

We can conclude that the Alerta COVID-19 is an agile tool that incorporates robust methods for the early detection of outbreaks.

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Coordinación de Vigilancia Epidemiológica, División de Análisis en Salud. Ciudad de México, México

²Instituto Mexicano del Seguro Social, Coordinación de Vigilancia Epidemiológica. Ciudad de México, México

ORCID: [0000-0002-5477-324X^a](#), [0000-0002-1547-2161^b](#), [0000-0003-0943-3032^c](#), [0000-0002-7954-5286^d](#),
[0000-0003-3301-353X^e](#), [0000-0003-2680-3250^f](#)

Palabras clave

Infecciones por Coronavirus
Estudios de Series Temporales
Vigilancia Sanitaria



Keywords

Coronavirus Infections
Time Series Studies
Health Surveillance

Fecha de recibido: 06/10/2022

Fecha de aceptado: 06/10/2022

Comunicación con:

Xóchitl Refugio Romero Guerrero
 xochitl.romero@imss.gob.mx
 (55) 5536-1539

.....
Cómo citar este artículo: Fernández-Gárate JE, González-Cruz AJ, Zenil-Pérez J, Medina-Reyes IS, Frances-Salgado H, Romero-Guerrero XR. Alerta temprana de brotes COVID-19 para planear la respuesta en el IMSS. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2022;60 Supl 2:S160-72.

Introducción

En marzo de 2020, el Consejo de Salubridad General de México emitió el acuerdo por el que se reconoce la epidemia de enfermedad por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19) como una enfermedad grave de atención prioritaria. A partir de ese momento se establecieron las actividades de preparación y respuesta ante dicha epidemia.¹ Esto supuso para el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) la necesidad de reorganizar la atención hospitalaria mediante la reconversión, lo que implicó establecer áreas específicas para la atención exclusiva de pacientes COVID-19.

La identificación de recursos humanos e integración de equipos COVID con personal especializado y de apoyo para una atención oportuna y de calidad, así como contar con los insumos y medicamentos necesarios tanto para atender de manera oportuna y adecuada a los pacientes, como para proteger al personal de salud y evitar la presencia de brotes nosocomiales representó un reto. En las mesetas interepidémicas se desconvirtieron servicios y se inició la recuperación de los servicios habituales.

Durante la cuarta ola pandémica en 2021, las características clínicas de la COVID-19 exigieron la implementación de *Módulos de Atención de Enfermedades Respiratorias* del Seguro Social (MARSS) en el primer nivel de atención, lo que implicó una reorganización de los servicios de salud que continuó durante la quinta ola epidémica.

Desde el inicio de la pandemia, el Instituto adaptó sus sistemas de información para el registro, notificación y seguimiento de los casos de COVID-19. A partir de la información generada, se creó un conjunto de herramientas analíticas que sirvió como elemento de apoyo fundamental para monitorear el comportamiento de la enfermedad (incidencia, índice de positividad, evaluación del riesgo gravedad, mortalidad y letalidad) y que, de igual modo, respaldó la toma de decisiones y el establecimiento de acciones de respuesta a la contingencia.

A pesar de los esfuerzos de la comunidad clínica y de investigación para incluir y poner a disposición datos que sean representativos de la actividad de COVID-19, no es claro cuáles han sido los más confiables para rastrear brotes en tiempo real.²

La información para el seguimiento de la COVID-19 ha tenido retrasos en la notificación, así como incertidumbres derivadas de la ineficiencia en los procesos de recopilación, cotejo y difusión de datos;³ por ejemplo, los casos confirmados pueden reflejar más la disponibilidad de pruebas rápidas que la incidencia de la enfermedad, y la confirmación de casos a menudo puede retrasarse por días o semanas.⁴

Para apoyar la organización y planeación de la respuesta adecuada y oportuna a la emergencia sanitaria por COVID-19, el IMSS adaptó sus sistemas de información y desarrolló herramientas analíticas y de modelación para conocer la magnitud y monitorear el comportamiento de la epidemia.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos de América fueron de los primeros en implementar un semáforo para medir el nivel de riesgo de COVID-19.⁵ El Ministerio de Salud de Bolivia implementó un índice de alerta temprana por COVID-19.⁶ En Estados Unidos de América se desarrolló un sistema de alerta temprana a partir del estudio de varias fuentes de datos digitales, individuales y colectivas que permitió identificar las primeras señales de un brote por COVID-19 a partir de la actividad en redes sociales.²

En México, la Secretaría de Salud implementó el *Lineamiento para la Estimación de Riesgos del Semáforo por Regiones COVID-19*,⁷ con el objetivo de comunicar a la población el estado de la epidemia y orientar a los tomadores de decisiones sobre las acciones que debían tomarse a nivel local en relación con posibles restricciones de la actividad socioeconómica y la organización de los servicios de salud.

Así, el sector salud y el IMSS desarrollaron modelos para tratar de pronosticar la fecha en que se alcanzaría la cima de la curva epidémica y su magnitud,⁸ en particular se buscaba estimar el número de pacientes que requerirían atención hospitalaria con y sin ventilación mecánica asistida, con el objetivo de tener disponibles los recursos para atender esa demanda.

También era de interés identificar o predecir el momento en que podía iniciar una nueva ola epidémica por medio de modelos que incluían variables como la movilidad de las personas,⁹ el monitoreo epidemiológico de las curvas epidémicas de casos sospechosos, casos confirmados, índice de positividad e incapacidades de trabajo, lo anterior con miras a reconocer oportunamente cambios en las tendencias y alertar sobre un nuevo brote. Sin embargo, esos indicadores se han seguido de forma aislada, por métodos gráficos y descriptivos. No obstante, estas limitantes han servido para implementar estrategias de respuesta como la activación de los MARSS y la reconversión hospitalaria.

Con el objetivo de identificar de forma temprana el inicio de una nueva ola epidémica se desarrolló un modelo que consiste en un semáforo que integra el análisis descriptivo de cuatro indicadores y lo combina con un modelo bayesiano de detección de brotes adaptado para COVID-19.¹⁰ Los resultados se publicaron en una herramienta de visualización denominada *Alertas COVID-19* para su uso por

los tomadores de decisiones a nivel de representaciones y nacional del IMSS.

En la herramienta también se integró la ocupación hospitalaria, la letalidad y la tasa de hospitalización por COVID-19, así como una estimación de la proporción de camas totales ocupadas por pacientes, independientemente de la causa, para tener una medida de la capacidad potencial de reconversión en el contexto de una estrategia de recuperación de servicios en el IMSS.

El propósito del presente manuscrito es describir la metodología de la Alerta COVID-19, los resultados en la detección y alertamiento temprano que permitió establecer con anticipación la quinta ola de COVID-19 respecto a la declaratoria oficial por parte del Consejo Nacional de Vigilancia Epidemiológica en México.

Objetivo

Describir la metodología y los resultados de la herramienta de detección temprana de brotes denominada Alerta COVID-19.

Material y Métodos

Semáforo de Alerta COVID-19

La primera parte de la elaboración del semáforo de Alerta COVID-19 fue la selección de parámetros que permitieran su monitoreo y midieran la intensidad de incremento o decremento de la actividad epidémica, así como el nivel de riesgo de brote de la enfermedad en la población. Esto se realizó mediante un consenso de médicos epidemiólogos y especialistas en análisis de datos de la Coordinación de Vigilancia Epidemiológica del IMSS, en donde se propusieron los siguientes parámetros:

- **Casos sospechosos:** número de casos notificados con sospecha de enfermedad respiratoria viral¹¹ registrados a la fecha de corte en el Sistema de Notificación en Línea para la Vigilancia Epidemiológica (SINOLAVE) del IMSS. Esto permite identificar a la población que se notifica y que tiene la probabilidad de estar infectada por algún virus de enfermedad respiratoria viral.
- **Casos confirmados:** número de casos positivos a SARS-CoV-2 registrados en el SINOLAVE. Se consideran casos confirmados por prueba PCR (laboratorio), prueba rápida, asociación o dictaminación clínica-epidemiológica¹¹ a la fecha de corte. Indica la magnitud de infec-

ción por COVID-19 en la población que ha desarrollado la enfermedad.

- **Índice de positividad:** número de casos positivos a SARS-CoV-2 por prueba PCR (laboratorio) o prueba rápida registrados en el SINOLAVE entre el total de muestras PCR y pruebas rápidas realizadas y registradas en el SINOLAVE a la fecha de corte. Indica el porcentaje de la población infectada por COVID-19 con respecto al total de muestras realizadas y el impacto de desarrollar la enfermedad.
- **Incapacidades:** número de casos por incapacidades temporales para el trabajo por COVID-19. Indica la magnitud de la población trabajadora registrada en el Instituto que se infectó por COVID-19.

Debido a la alta demanda de atención en las Unidades de Medicina Familiar para casos ambulatorios, a la aplicación de pruebas rápidas y la implementación de los MARSS para la detección oportuna de casos positivos al virus SARS-CoV-2, se fortaleció la capacidad de procesamiento de pruebas rápidas y por PCR en los laboratorios con la finalidad de tener una notificación, registro y reporte oportuno de casos confirmados en el SINOLAVE.

El cálculo del índice de positividad que se llevó a cabo en el Instituto permitió el uso de pruebas rápidas, toda vez que se observaba una mayor transmisión comunitaria del virus SARS-CoV-2, junto con una menor hospitalización, lo que significó una disminución en el uso de pruebas por PCR.

Este semáforo evaluó un periodo de veintiocho días, considerando una censura de siete días para los parámetros de casos sospechosos, casos confirmados e índice de positividad y una censura de tres días de acuerdo con el último día de registro disponible para incapacidades; de esta forma se garantiza la consistencia y confiabilidad en la información registrada en los sistemas institucionales que se dividen en dos periodos diferentes: los últimos catorce días comparados con los catorce días previos.

Se asignó una ponderación a cada uno de dichos parámetros para definir zonas de riesgo que permiten clasificar las alertas y alarmas por riesgo de brote para casos confirmados (4), índice de positividad (3), incapacidades (2) y casos sospechosos (1).

Para la evaluación de los parámetros mencionados se aplicó un factor determinado para cada criterio:

- Se clasifica en zona de estabilidad cuando la incidencia de casos sospechosos, confirmados e incapacidades sea menor en las últimas dos semanas con respecto al

periodo previo inmediato y el índice de positividad sea menor al 20%.

- En *zona de alerta* a un aumento de los casos sospechosos y de incapacidad del doble o más en las últimas dos semanas con respecto al periodo previo inmediato (en los casos confirmados), o cuando se observe un incremento de hasta el doble en los periodos referidos y el índice de positividad se encuentre entre el 20 y 40%.
- La *zona de alarma* se determina si el aumento de los casos sospechosos y de incapacidad supera el triple o más en las últimas dos semanas con respecto al periodo previo inmediato. En los casos confirmados ocurre en el momento en que se observe un incremento del doble o más en los periodos referidos y en el índice de positividad sea superior al 40%.

Para la obtención del valor del semáforo de la Alerta COVID-19 a cada zona se le asignó un valor de factor: estabilidad (0), alerta (1) y alarma (2) y se multiplicó por el valor correspondiente de cada parámetro. Finalmente, se realizó la suma y se determinó la semaforización de riesgo de brote en los intervalos establecidos: *bajo*, para un valor menor a 6.6 (se categoriza como zona interepidémica o descenso), *medio*, para un valor entre 6.7 y 13.3 (denominada zona de crecimiento inicial) y *alto*, cuando es mayor a 13.4 (corresponde a la zona de inicio de crecimiento exponencial).

Las unidades de análisis del semáforo de Alertas COVID-19 para la detección de alertas tempranas ante nuevas olas epidémicas en el país son a nivel nacional y en las treinta y cinco representaciones del IMSS en los estados.

Validación

La validación de la Alerta COVID-19 se realizó con las siguientes herramientas:

Análisis de tendencias de datos: se monitorearon por separado los parámetros que se usan en la Alerta COVID-19 (casos sospechosos, casos confirmados, índice de positividad e incapacidades) por medio de gráficos de tendencia desde el inicio de la pandemia por año, semana epidemiológica y en los últimos veintiocho días.

Tasa de incidencia: permitió identificar por representación las tasas de incidencia clasificadas en deciles.

Correlación con otras fuentes de información: se realizó un análisis de la evolución de la letalidad hospitalaria, así como la distribución en México de los linajes del SARS-CoV-2 para determinar sus prevalencias. Además, se rea-

lizó la comparación con la información de datos abiertos que publica la Secretaría de Salud.¹²

Curva de alerta temprana de brotes: la pandemia de influenza A(H1N1), que tuvo lugar en México en 2009, fue la punta de lanza de investigaciones entre las que destacan las realizadas por el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT),⁹ cuyo trabajo se basa en el modelo epidémico SIR (Susceptibles-Infectados-Recuperados) de Kermack y McKendrick, el cual es un modelo de compartimentos donde la población de estudio se divide en clases epidemiológicas y se describe un flujo entre ellas (figura 1).

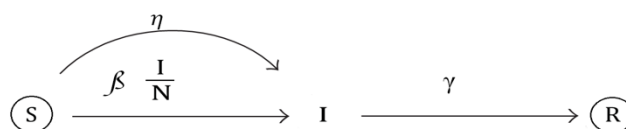


Figura 1 El parámetro β es la tasa de contacto, γ es la tasa de recuperación y η tiene en cuenta las infecciones debidas a los casos importados, N corresponde a la población

La base de dicho estudio consiste en comparar un modelo lineal (modelo 1) con uno de tipo exponencial (modelo 2). La selección de uno u otro viene dada por el factor de Bayes ($B^{1,2}$), que es la relación de estos dos modelos estadísticos donde se ponen a competir, representados por su probabilidad marginal y se utiliza para cuantificar el apoyo de un modelo sobre el otro. Cuando la probabilidad del modelo 1 es mayor que la probabilidad del modelo 2, se tiene que $B^{1,2} > 1$ significa que el primer modelo es más probable, por lo que este es el que describe mejor el comportamiento. En caso contrario se tendría que elegir el modelo 2 lo que indicaría el inicio de un brote epidémico.⁹

El IMSS adaptó este modelo bayesiano para determinar los brotes de COVID-19. El modelo tuvo un ajuste adecuado, lo que permitió utilizarlo como una herramienta de validación y comparación con el método desarrollado teniendo coincidencia con la Alarma COVID-19.

Semáforo de monitoreo de las hospitalizaciones y la letalidad por COVID-19

Con el fin de cumplir con el propósito de preparar los servicios médicos ante el aumento de demanda de la población y con el fin de monitorear y evaluar el riesgo de gravedad y poder realizar una planeación de respuesta en el IMSS se adicionó, además, un semáforo de monitoreo de las hospitalizaciones y de la letalidad por COVID-19. Para ello, se

seleccionaron y establecieron cuatro parámetros enfocados a la capacidad instalada y letalidad hospitalaria del IMSS:

- **Letalidad hospitalaria COVID-19:** número total de defunciones de casos positivos a SARS-CoV-2 registrados en el SINOLAVE entre el número total de casos hospitalizados en segundo y tercer nivel de atención registrados en el SINOLAVE y en el sistema del Centro Virtual de Operaciones en Emergencias y Desastres a la fecha de corte con una censura de las últimas dos semanas epidemiológicas. Indica el comportamiento y desenlace de los pacientes hospitalizados por COVID-19.
- **Porcentaje de ocupación camas COVID-19:** número total de camas de hospitalización ocupadas por pacientes positivos a SARS-CoV-2 entre el número de camas de hospitalización destinadas para la atención a pacientes por COVID-19 a la fecha de corte. Se toma en cuenta el último día de registro disponible e indica el comportamiento de la gravedad de los pacientes con COVID-19 que requiere hospitalización con respecto a la capacidad instalada destinada para la atención directa de pacientes confirmados a la enfermedad en el IMSS.
- **Tasa de hospitalización COVID-19:** número total de pacientes hospitalizados positivos a SARS-CoV-2 en el periodo entre la población adscrita a médico familiar a la fecha de corte. Se realiza una censura del último día de registro disponible e indica el comportamiento de la gravedad de los pacientes con la enfermedad de COVID-19 que requiere hospitalización con respecto a la población adscrita a médico familiar del IMSS.
- **Porcentaje de ocupación de camas totales:** número total de camas de hospitalización ocupadas por pacientes positivos a SARS-CoV-2 entre el número total de camas censables de hospitalización a la fecha de corte. Se toma en cuenta el último día de registro disponible e indica el comportamiento de la gravedad de los pacientes con la enfermedad de COVID-19 que requiere hospitalización con respecto a la capacidad total de camas censables de hospitalización que tiene el IMSS para la atención de la demanda de la población usuaria.

Siguiendo una metodología similar a la descrita anteriormente con el semáforo de la Alerta COVID-19, se asignó un valor de ponderación a cada parámetro y se realizó una definición de zonas que permiten clasificar las alertas y alarmas por riesgo de saturación en hospitalización: letalidad hospitalaria COVID-19 (4), porcentaje de ocupación camas COVID-19 (3), tasa de hospitalización COVID-19 (2) y porcentaje de ocupación de camas totales (1).

Para la evaluación de los parámetros mencionados se

aplicó un factor que se determinó con los criterios que se describen a continuación:

- **Estabilidad:** determina que el porcentaje de ocupación de camas totales por pacientes COVID-19 sea menor al 10%, que la tasa de hospitalización COVID-19 sea menor en las últimas dos semanas con respecto al periodo previo inmediato, que el porcentaje de ocupación de camas destinadas para COVID-19 sea menor al 50% y la letalidad hospitalaria sea menor al 25%.
- **Alerta:** determina que el porcentaje de ocupación de camas totales por pacientes COVID-19 se encuentre entre el 10% y 25%, que la tasa de hospitalización COVID-19 tenga un incremento de hasta el doble en los periodos referidos, que el porcentaje de ocupación de camas destinadas para COVID-19 se encuentre entre el 50% y 80% y que la letalidad hospitalaria se encuentre entre el 25% y 40%.
- **Alarma:** establece que el porcentaje de ocupación de camas totales por pacientes COVID-19 sea mayor al 25%, que la tasa de hospitalización COVID-19 tenga un incremento del doble o más en los periodos referidos, que el porcentaje de ocupación de camas destinadas para COVID-19 sea mayor al 80% y que la letalidad hospitalaria sea mayor al 40%.

Para la obtención del valor del semáforo de hospitalización y letalidad COVID-19, a cada zona se asignó un valor de factor: estabilidad (0), alerta (1) y alarma (2), y se multiplicó por el valor correspondiente de cada parámetro; finalmente se sumó y se determinó la semaforización de riesgo de saturación en hospitalización en los intervalos establecidos: bajo, cuando el valor es menor 6.6 (zona interepidémica o descenso); medio, entre 6.7 y 13.3 (zona de crecimiento inicial) y alto para un valor mayor a 13.4 (zona de inicio de crecimiento exponencial).

Modelo de pronóstico de hospitalización diaria

Las camas censables y la ocupación hospitalaria representan parámetros de relevancia para conocer la capacidad hospitalaria y atender la demanda habitual de nuestros derechohabientes. El IMSS cuenta con el Sistema Médico Operativo Central (SIMOC)-Módulo Hospital, Inventario Físico de Unidades (IFU) que proporciona información sobre las camas censables. Sin embargo, en muchas ocasiones no es posible contar con información actualizada para medir la capacidad hospitalaria (la cual ronda alrededor del 85% diario nacional) ante eventos emergentes, reemergentes y catastróficos, para poder organizarla y en su caso reconvertirla.

Por este motivo se realizó un ajuste de censura dinámica por Representación de la información al corte, empleando la mediana de las cuatro últimas semanas; de esta forma se garantiza que cada Representación cuente con la información más reciente a la fecha de corte y se pueda obtener un mejor pronóstico de su ocupación hospitalaria.

Para dar respuesta a la falta de información de camas censables en fecha actual y el pronóstico a cuatro semanas se empleó el método *Prophet*,¹³ (software de código abierto desarrollado y publicado por el equipo *Core Data Science* de Facebook en 2017). Este método, dentro de sus algoritmos, predice y pronostica datos de series temporales, basado en un modelo aditivo en el que las tendencias no lineales se ajustan a la estacionalidad anual, semanal y diaria. Además de los efectos de los días festivos, trabaja con series de tiempo que tienen fuertes efectos estacionales empleando series de Fourier en varias temporadas de datos históricos. No presenta problemas con datos faltantes, cambios en la tendencia de estos y tiene un manejo adecuado de valores atípicos.

Para evaluar la sensibilidad y especificidad de la Alerta COVID-19, se calculó la curva ROC y el f1-score.

Resultados

En el mes de mayo de 2022 se inició la operación de la Alerta COVID-19 en el IMSS, lo que permitió identificar en la semana epidemiológica 19 que algunas Representaciones como Aguascalientes, Baja California Sur, Nuevo León, Quintana Roo, Yucatán y la Ciudad de México se ubicaban en semáforo de riesgo de brote alto. Esto fue constatado posteriormente, ya que dicha alerta coincidió con el inicio de la quinta ola epidémica. El pronóstico del inicio de dicha ola fue tres semanas antes de que la Secretaría de Salud informara de manera oficial el inicio de esta en México, en la semana epidemiológica número 22.

Conforme avanzó el inicio de la quinta ola, y durante varias semanas, el semáforo de la Alerta COVID-19 pasó de nivel de riesgo bajo (verde) y medio (amarillo), hasta riesgo de brote alto (rojo) en todas las Representaciones y a nivel nacional en la semana epidemiológica 25.

A partir de la semana epidemiológica 26 se identificó el inicio de una meseta en la curva epidémica de casos sospechosos y confirmados, lo que sugería una estabilización en la continuidad de propagación del virus SARS-CoV-2 sobre la población, esto llegó a su punto máximo en la semana epidemiológica 28.

Posterior a ese periodo, a nivel nacional y las Repre-

sentaciones de Baja California Sur, Quintana Roo, Sinaloa, Yucatán, CDMX Norte y Ciudad de México Sur se comenzaron a observar los cambios en la tendencia a la baja de los casos e incapacidades, por lo que estos indicadores fueron comportándose de forma inversa, es decir, pasando de nivel de riesgo alto (rojo) a medio (amarillo), hasta llegar a un nivel de riesgo bajo (verde) y estar cada parámetro en zona de estabilidad (anexo I).

Con una tendencia acelerada en descenso, la Alerta COVID-19 ubicó a la quinta ola epidémica en una fase de riesgo de brote bajo en la semana epidemiológica 30, lo que sugería una menor transmisión del virus SARS-CoV-2.

Con respecto al monitoreo de las curvas epidémicas, se incorporaron gráficas de tendencia por año-semana epidemiológica y de los últimos veintiocho días, lo cual sirvió como apoyo para la visualización del comportamiento epidemiológico de los parámetros seleccionados en la Alerta COVID-19 con la intención de confirmar o descartar algún evento observado en los cambios de tendencia de ascenso o descenso.

A partir de la semana 15 de 2022 se observó a nivel nacional del IMSS que los casos sospechosos tuvieron un ligero repunte y a partir de la semana 19 este incremento se volvió más evidente. Durante este tiempo los casos confirmados superaron a los casos del año previo, es decir, ocurrió de manera más acelerada con respecto a la fase de ascenso inicial de la tercera ola ocurrida en el año 2021.

La tasa de incidencia se incorporó como validación para el comportamiento de transmisión del virus SARS-CoV-2 de los casos activos durante los últimos 14 días por medio de un mapa geográfico de México desagregado a nivel de Representación. Así también, por medio de un gráfico de barras, se monitorearon las Representaciones ordenadas de mayor a menor y con base en una categorización de deciles. Esto posibilitó la realización de una semaforización que permitió diferenciar las Representaciones con mayor transmisión del SARS-CoV-2 y así implementar acciones para mitigar la propagación territorial de la enfermedad en la población.

Para la validación de detección de brotes por medio del modelo bayesiano se seleccionaron los parámetros de casos sospechosos, casos confirmados e incapacidades. Asimismo, se incorporó la población adscrita a médico familiar como población de estudio y el cálculo del número de reproducción básica (R_0) asignado para cada una de las Representaciones del Instituto.

A partir de este modelo, inicialmente, se identificó el incremento e inicio progresivo en la incidencia de casos a

partir de la semana epidemiológica 19; sin embargo, con el avance del tiempo el modelo se ajustó y realizó la detección con mayor oportunidad a partir de la semana epidemiológica 15, por lo cual se asoció correctamente con el inicio de la quinta ola epidémica del virus SARS-CoV-2.

El modelo realizó la detección de brotes para COVID-19 en el periodo de la semana epidemiológica 15 a la 29, esto fue representado mediante un gráfico de tendencia. Después de esta última semana y debido a la tendencia al descenso ya no se detectaron brotes en las siguientes semanas (figura 2).

También, por medio un semáforo con el valor calculado del E (R0) se pudo validar e identificar el brote de cada una de las Representaciones en los parámetros indicados, Los resultados coincidieron con los obtenidos en el semáforo de Alertas COVID-19 y fueron confirmados por estos modelos.

Una vez establecido el monitoreo y seguimiento de la actividad epidémica por COVID-19, se requirió visualizar el comportamiento de la enfermedad enfocado a la gravedad en la población, reflejado en las hospitalizaciones de los pacientes y, a su vez, en la ocurrencia de defunciones registradas en el IMSS.

Mediante este monitoreo en la quinta ola epidémica se identificó como periodo crítico en hospitalización del 10 al 21 de Julio de 2022, en donde las Representaciones que mostraron un incremento significativo fueron Ciudad de México Norte, Ciudad de México Sur, Nuevo León, Veracruz Norte, Sinaloa, Baja California Sur y México Poniente principalmente (figura 3); sin embargo, la proporción de hospitalizaciones y de letalidad comparado con las olas anteriores fue de menor impacto, pero permitió vigilar la oportunidad y calidad de la atención en todo momento.

También, como apoyo y validación a este semáforo, se implementaron algunos elementos como gráficos de tendencia del porcentaje de las camas ocupadas por pacientes COVID-19 y porcentaje de camas totales desde el inicio de la pandemia en el año 2020.

En esta quinta ola las hospitalizaciones no fueron tan elevadas como en olas epidémicas anteriores (primera y segunda ola). Y se ha observado una tendencia a la baja en el avance de esta pandemia a la fecha. El punto máximo identificado en el periodo para el porcentaje de ocupación de camas COVID-19 fue de 58.3% y del porcentaje de ocupación de camas totales censables de hospitalización a nivel nacional se encontró en un 3.7%.

En el caso del porcentaje de ocupación hospitalaria durante el 2022, se pudo observar que se mantiene alre-

dedor del 85% a nivel nacional, donde las hospitalizaciones *no COVID* ocupan el mayor porcentaje en cuanto a la demanda de atención por otros diagnósticos y el porcentaje de ocupación hospitalaria por pacientes con diagnóstico de COVID-19, que solo ocupó el 1.7% del total de hospitalizaciones, en el punto máximo correspondiente a la quinta ola.

El pronóstico de hospitalizaciones a cuatro semanas, nacional y por Representación mostró un comportamiento similar al presentado hasta ahora en todos las Representaciones. Con el uso de *Prophet* se pronosticó el comportamiento nacional de ocupación hospitalaria y por Representación.

La gráfica de dispersión representa la información diaria de camas ocupadas y la línea continua nos muestra la predicción de modelo, así como el intervalo de predicción y el pronóstico de este a cuatro semanas. Esto constituye un elemento de alta relevancia no solo en el tema COVID-19, pues establece una herramienta que nos permite identificar por Representación la ocupación hospitalaria general, la ocupación COVID-19 y la ocupación de pacientes *no COVID-19* de manera más precisa y confiable, lo que se traduce en una herramienta valiosa para la planeación y organización de los servicios de atención hospitalaria en el IMSS (figura 4).

En el monitoreo de la letalidad hospitalaria por COVID-19 en el IMSS es de gran utilidad para dimensionar el impacto de la enfermedad y como componente de la Alerta COVID, ya que permite diferenciar dicho impacto entre las Representaciones e identificar ventanas de oportunidad en materia de calidad de atención. En esta quinta ola se observó que la letalidad hospitalaria ha sido menor a la reportada en cualquiera de las olas epidémicas anteriores, con un punto máximo de 27.9%.

Análisis de curvas ROC

Para el cálculo de la curva ROC, el estándar de oro, fue el modelo bayesiano desarrollado por el CIMAT y adaptado para COVID-19. El análisis de la curva ROC indica que el área bajo la curva (AUC) es de 0.7507 en el periodo de detección del brote, con una sensibilidad del 77% y un 73% de especificidad; por lo que el modelo tiene mayor capacidad de detectar cambios ascendentes en la tendencia, en este caso un posible brote que es la finalidad de la herramienta. Estos valores fueron semejantes en las Representaciones. El *f1-score*, que es una medida que relaciona la sensibilidad y la especificidad para poder comparar el rendimiento con otros modelos, es de un 63% (figura 5).

Así la Alerta COVID-19 ha permitido la vigilancia epi-

Figura 2 Modelo de detección de brotes COVID-19

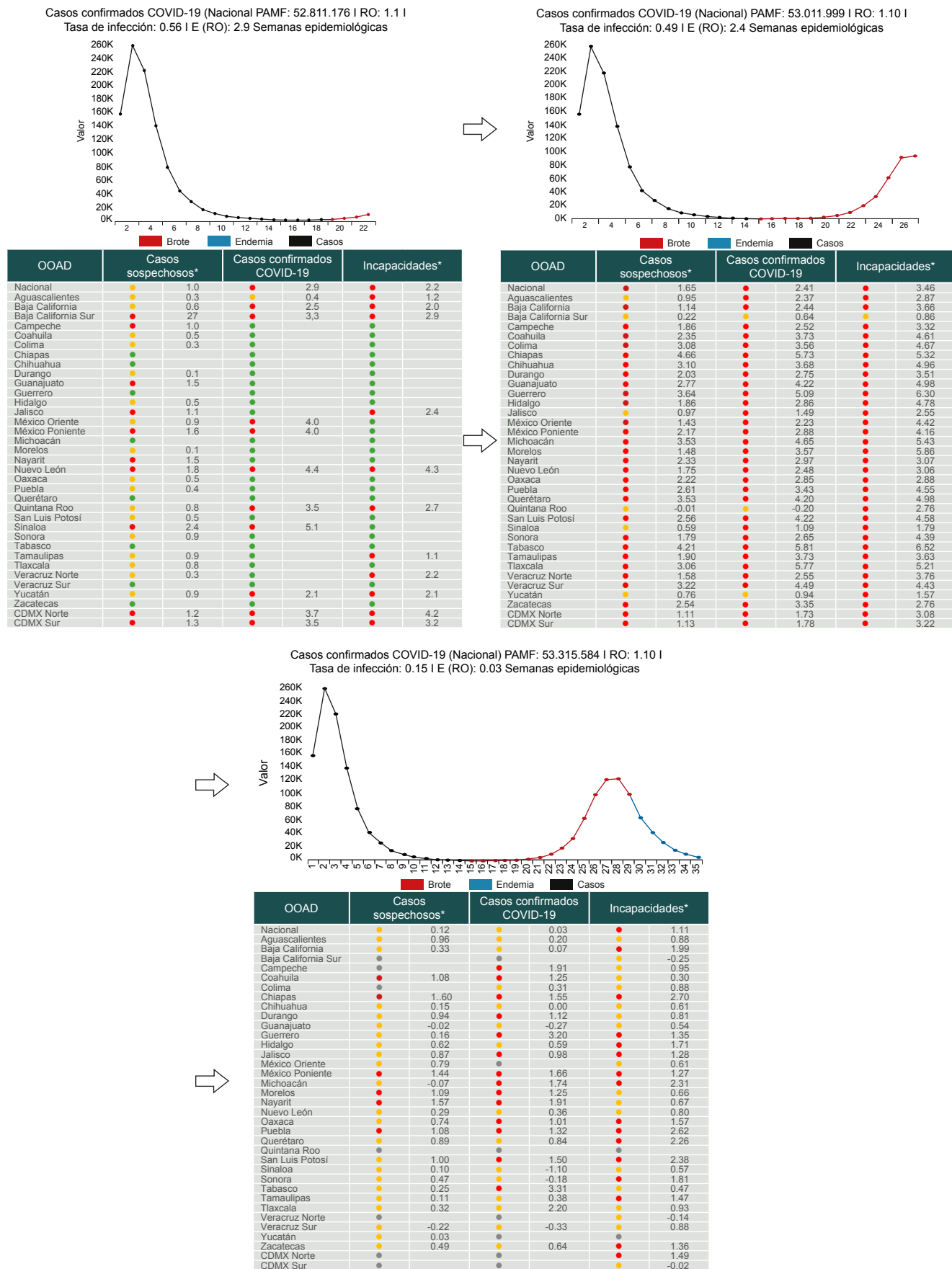


Figura 3 Semáforo de hospitalización y letalidad COVID-19

OOAD	% ocupación de camas totales		Tasa de hospitalización por COVID-19		% ocupación de camas COVID-19		% Letalidad hospitalaria COVID-19		Riesgo de saturación en hospitalización
	●	●	●	●	●	●	●	●	
Nacional	●	3.5	●	5.64	●	47.0	●	16.3	Bajo
Aguascalientes	●	3.1	●	4.15	●	56.7	●	25.0	Medio
Baja California	●	0.6	●	0.79	●	20.7	●	15.0	Bajo
Baja California Sur	●	4.4	●	7.83	●	35.3	●	15.8	Bajo
Campeche	●	3.0	●	6.39	●	50.0	●	10.0	Medio
Coahuila	●	2.8	●	5.21	●	44.8	●	14.7	Bajo
Colima	●	3.5	●	9.14	●	33.3	●	16.7	Bajo
Chiapas	●	1.4	●	4.61	●	25.0	●	40.0	Medio
Chihuahua	●	1.9	●	2.06	●	49.0	●	30.0	Bajo
Durango	●	2.5	●	3.63	●	60.0	●	0.0	Bajo
Guanajuato	●	3.6	●	4.53	●	60.0	●	25.0	Medio
Guerrero	●	2.6	●	5.03	●	33.3	●	10.0	Bajo
Hidalgo	●	2.0	●	2.56	●	30.0	●	0.0	Bajo
Jalisco	●	1.5	●	2.65	●	33.1	●	11.8	Bajo
México Oriente	●	3.6	●	8.59	●	49.0	●	19.5	Bajo
México Poniente	●	4.2	●	6.72	●	41.1	●	9.8	Bajo
Michoacán	●	2.2	●	3.43	●	50.0	●	6.7	Medio
Morelos	●	2.8	●	3.35	●	35.3	●	50.0	Medio
Nayarit	●	1.1	●	4.67	●	26.7	●	33.3	Bajo
Nuevo León	●	4.9	●	7.86	●	56.4	●	24.8	Bajo
Oaxaca	●	5.0	●	10.10	●	35.7	●	11.1	Bajo
Puebla	●	3.1	●	3.27	●	83.3	●	30.8	Medio
Querétaro	●	3.7	●	4.23	●	62.5	●	7.7	Bajo
Quintana Roo	●	1.0	●	2.74	●	12.9	●	5.9	Bajo
San Luis Potosí	●	1.4	●	1.50	●	45.5	●	50.0	Medio
Sinaloa	●	4.5	●	3.82	●	63.1	●	12.0	Bajo
Sonora	●	1.8	●	4.41	●	38.5	●	13.6	Bajo
Tabasco	●	0.8	●	1.40	●	25.0	●	0.0	Bajo
Tamaulipas	●	4.3	●	4.69	●	48.1	●	30.6	Bajo
Tlaxcala	●	1.6	●	3.64	●	18.8	●	20.0	Bajo
Veracruz Norte	●	4.6	●	8.06	●	56.5	●	12.7	Bajo
Veracruz Sur	●	2.9	●	4.96	●	36.0	●	4.5	Bajo
Yucatán	●	2.0	●	6.43	●	33.3	●	12.5	Bajo
Zacatecas	●	2.7	●	2.28	●	22.9	●	0.0	Bajo
CDMX Norte	●	8.4	●	17.53	●	62.0	●	14.0	Bajo
CDMX Sur	●	4.6	●	10.66	●	40.6	●	13.4	Bajo

Figura 4 Porcentaje de ocupación hospitalaria COVID - No COVID y pronóstico total

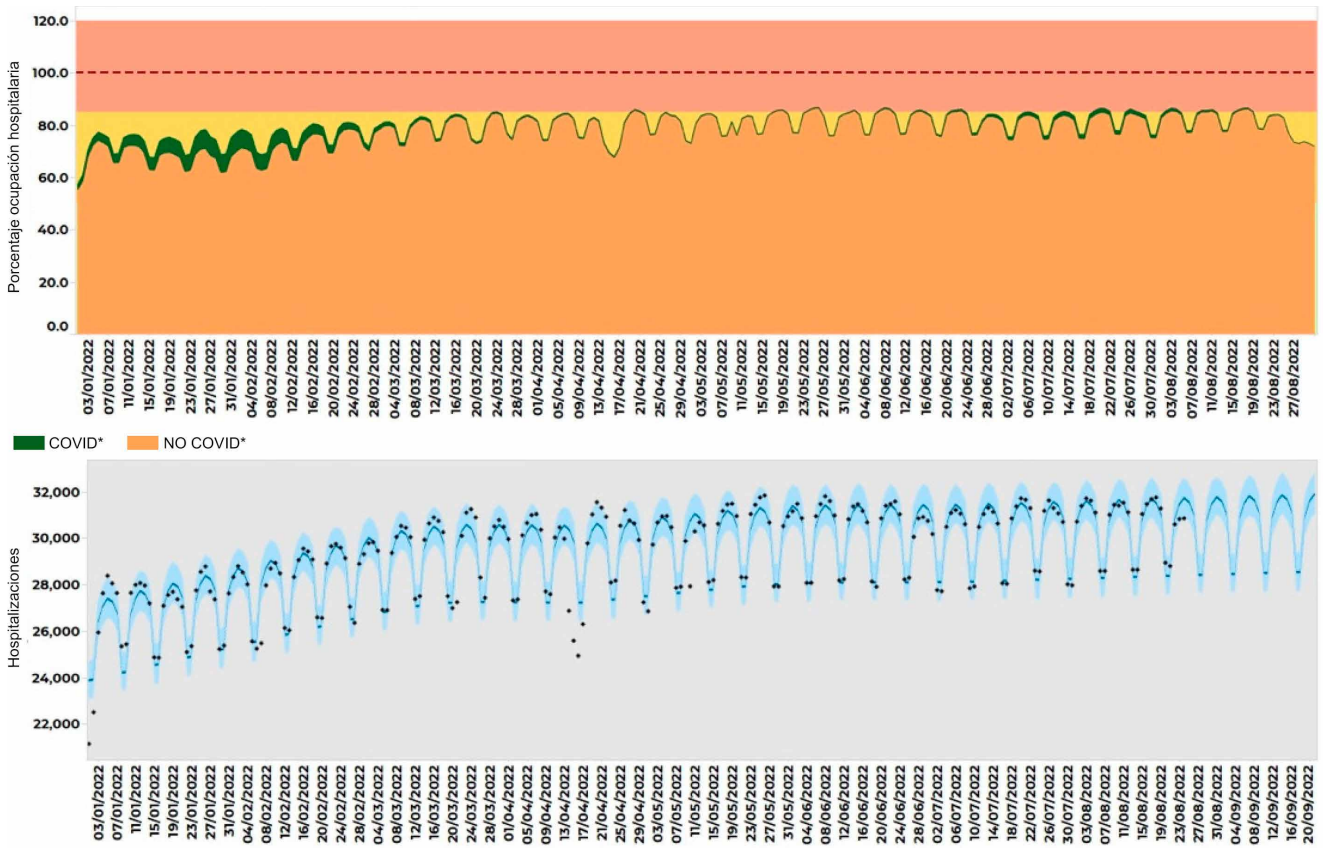
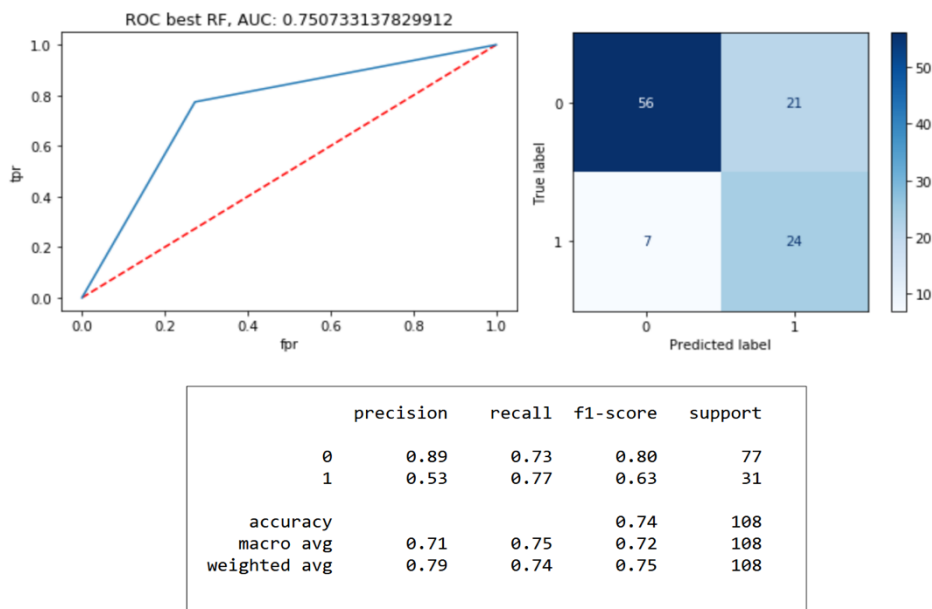


Figura 5 Curva ROC, matriz de confusión y valores de sensibilidad y especificidad a la hora de predecir un brote (1) o no brote (0)

demiológica puntual debido a la detección temprana de los eventos y riesgos de brote en cada una de las Representaciones con los parámetros establecidos. Los resultados obtenidos y monitoreo de la enfermedad se deben a la oportuna actualización de la información que se realiza de manera diaria y casi en tiempo real, generando así la probabilidad de anticipar las acciones de respuesta de los servicios de salud ante eventos emergentes y a la oportuna toma de decisiones en beneficio de la población derechohabiente.

Discusión

El empleo de información de la transmisión y propagación de la enfermedad por COVID-19 y su representación gráfica por medio de tableros electrónicos en línea en la modalidad de semaforización tiene por objetivo el monitoreo de alerta temprana de un brote nuevo; ejemplo de ello son los tableros realizados por los CDC de Estados Unidos de America⁵ y Bolivia, en donde también se empleó un tablero de semaforización de alerta temprana.⁶ Estos están dirigidos a dar información a la comunidad.

En México, el Sector Salud creó un portal de Semáforo de Riesgo Epidemiológico en el cual se describe la situación epidemiológica de la transmisión del COVID-19 y el cual está orientado a proporcionar información a la población en general.⁷ El modelo propuesto utiliza información diversa que en su conjunto proporciona una semaforización orientada a preparar y reorganizar tempranamente los recursos humanos, materiales e insumos ante el incremento de

COVID-19 en las Representaciones y a nivel nacional en la población derechohabiente del IMSS, integrando, adicionalmente, herramientas de pronóstico hospitalario en la utilización de camas censables, lo que lo convierte en una herramienta útil, ágil y de fácil interpretación para los tomadores de decisión en el comportamiento y seguimiento de COVID-19.

La ventaja práctica del modelo fue alertar de forma temprana a los tomadores de decisiones dentro del Instituto sobre el inicio de una nueva ola epidémica, lo cual permitió preparar la respuesta anticipada en los servicios ambulatorios y hospitalarios, organizar los recursos humanos y asegurar la disponibilidad de insumos.

Una de las limitaciones del modelo propuesto es que se encuentra sujeto a la calidad de las fuentes primarias de información; por otro lado, al comparar el modelo aquí propuesto con otras alertas tempranas, como el realizado por *National Institute of General Medical Sciences*² donde por medio del uso de medios electrónicos logran una sensibilidad del 75% y una precisión del 96% en la detección de nuevos casos. Cabe aclarar que las fuentes de cada uno de los modelos son diferentes. La sensibilidad con el modelo propuesto fue mayor, aunque con menor especificidad, ya que se privilegió una mayor capacidad de detectar oportunamente el inicio de brotes. Se evaluaron distintos puntos de corte, siendo el elegido el que daba un área mayor bajo la curva ROC, aunque para un punto de corte 11 la sensibilidad era más elevada.

Se identificó la necesidad de continuar con el desarrollo de un modelo de ponderación dinámica temporal para las

variables empleadas en la semaforización de acuerdo a la semana epidemiológica, de la vigilancia temprana con alertas COVID-19, mediante el método de explicación SHAP (*Shapley Additive exPlanations*),¹⁴ que calcula los valores de Shapley a partir de la teoría de juegos de coalición para observar la contribución de cada característica de las variables para la predicción de zonas de riesgo que permitirán clasificar de manera más confiable las alertas y alarmas por riesgo de brote.

Por otro lado, se continuará con la investigación de un modelo matemático o algoritmo de pronóstico de período corto de tiempo que permita conocer de manera más confiable el comportamiento futuro hospitalario de las camas censables y valorar la necesidad de iniciar estrategias de reconversión.

Conclusiones

La metodología de Alertas COVID-19 permitió al IMSS identificar el inicio de la quinta ola epidémica de COVID-19 desde la semana epidemiológica 19, además de identificar las distintas fases de la curva epidémica, crecimiento inicial, crecimiento exponencial, descenso inicial y descenso constante, por lo que se logró determinar el punto máximo de la ola a nivel nacional y el descenso de esta para cada una de las Representaciones en la semana epidemiológica 28.

Es importante mencionar que se recibieron aportaciones de otras áreas y direcciones normativas del IMSS para incorporar el seguimiento a las hospitalizaciones, lo que se

constituyó en una herramienta valiosa que no solo complementó la Alerta COVID-19, sino que además genera alertas tempranas en caso de alcanzar niveles próximos a la saturación hospitalaria de camas COVID y camas no COVID, lo que permitirá anticiparse a mejorar la capacidad resolutive de los servicios médicos hospitalarios en el IMSS a nivel nacional y a nivel de Representación.

El monitoreo de la letalidad representa una herramienta valiosa para conocer el impacto de la enfermedad e identificar ventanas de oportunidad para identificar problemas de calidad de atención de manera desagregada por Representación y a nivel nacional.

La Alerta COVID-19 sirvió como elemento de validación de notas de medios de información y periodísticas, ya que se mencionaba que los hospitales estaban nuevamente saturados, pero al analizar las hospitalizaciones se podía fundamentar que no era información correcta.

Se construyó una herramienta muy visual y de fácil entendimiento para la detección de brotes de COVID-19 usando parámetros conocidos, lo que permite llevar el seguimiento puntual de las Representaciones y a nivel nacional en el IMSS.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno que tuviera relación con este artículo.

Referencias

1. Guía de Continuidad de Operaciones para el Acceso con Oportunidad a los Servicios de Salud en las Unidades Médicas de la Administración Pública Federal. Versión 2.0, 29 de marzo 2021.
2. Kogan, N. E., Clemente, L., Liautaud, P., Kaashoek, J., Link, N. B., Nguyen, A. T., Lu, F. S., Huybers, P., Resch, B., Havas, C., Petutschnig, A., Davis, J., Chinazzi, M., Mustafa, B., Hanage, W. P., Vespignani, A., & Santillana, M. (2021). An early warning approach to monitor COVID-19 activity with multiple digital traces in near real time. *Science advances*, 7(10), eabd6989. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd6989>
3. M. Lipsitch, M. Santillana, Enhancing situational awareness to prevent infectious disease outbreaks from becoming catastrophic. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* 424, 59–74 (2019)
4. J. Kaashoek, M. Santillana, COVID-19 positive cases, evidence on the time evolution of the epidemic or an indicator of local testing capabilities? A case study in the United States. *arXiv:2004.3128874* (2020)
5. Indicators for Monitoring COVID-19 Community Levels and COVID-19 and Implementing COVID-19 Prevention Strategies. (2022, 25 febrero). CDC. Recuperado 2 de agosto de 2022, de <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/science/Scientific-Rationale-summary-COVID-19-Community-Levels.pdf>.
6. Índice de Alerta Temprana. (2020, 4 diciembre). Ministerio de Salud Bolivia. Recuperado 3 de febrero de 2022, de <https://www.minsalud.gob.bo/es/component/jdownloads/?task=download.send&id=570&catid=29&m=0&Itemid=646>.
7. Secretaría de Salud (2021) Lineamiento para la estimación de riesgos del semáforo por regiones Covid-19 [pdf]. Disponible en: <Disponible en: https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/10/SemaforoCOVID_Metodo.pdf > [Consultado el 18 de agosto de 2021].
8. Capistrán, M.A., Capella, A.A., & Christen, J.A. (2020). Forecasting hospital demand during COVID-19 pandemic outbreaks. *arXiv: Populations and Evolution*.
9. García, Y. E., Christen, J. A., & Capistrán, M. A. (2015). A Bayesian Outbreak Detection Method for Influenza-Like Illness. *BioMed research international*, 2015, 751738. <https://doi.org/10.1155/2015/751738>
10. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). COVID-19 Mortality, Infection, Testing, Hospital Resource Use, and Social Distancing Projections. Seattle, United States of

- America: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), University of Washington, 2022
11. Lineamiento Estandarizado Para La Vigilancia Epidemiológica Y Por Laboratorio De La Enfermedad Respiratoria Viral. (2022, abril). Secretaria de Salud. Recuperado 06 de abril de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/715444/Lineamiento_VE_y_Lab_Enf_Viral_05042022.pdf
 12. Datos Abiertos Covid 19. (2022, 6 abril). Secretaria de Salud México. Recuperado 7 de abril de 2022, de <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
 13. Taylor SJ, Letham B. 2017. Forecasting at scale. PeerJ Preprints 5:e3190v2 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2>
 14. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. (2017). Recuperado 30 de junio de 2022, de <https://papers.nips.cc/paper/2017/hash/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Abstract.html>

Anexo I Semáforo alertas COVID-19

Corte 10-junio-2022

Semáforo de alertas COVID-19 (últimos 28 días)

OOAD	Casos sospechosos*	Incapacidades*	% Índice de positividad*	Casos confirmados	Riesgo de brote
Nacional	144,114	24,855	20.5	23,519	Alto
Aguascalientes	7,509	1,200	22.1	1,642	Bajo
Baja California	7,805	1,240	18.6	1,113	Alto
Baja California Sur	3,041	1,277	40.1	981	Alto
Campeche	1,022	231	25.0	199	Medio
Coahuila	4,693	271	6.8	209	Medio
Colima	2,214	113	18.0	326	Alto
Chiapas	336	261	23.7	21	Bajo
Chihuahua	1,491	499	18.4	213	Medio
Durango	1,233	92	16.8	149	Medio
Guanajuato	3,476	541	16.7	475	Medio
Guerrero	571	103	10.7	38	Medio
Hidalgo	1,657	236	13.9	182	Medio
Jalisco	8,212	2,319	19.8	1,230	Alto
México Oriente	9,868	1,009	17.3	991	Alto
México Poniente	4,111	471	22.0	737	Alto
Michoacán	1,217	177	17.4	160	Medio
Morelos	2,150	87	7.7	128	Medio
Nayarit	2,097	264	27.2	452	Alto
Nuevo León	12,829	1,868	18.5	1,975	Alto
Oaxaca	2,634	444	28.0	536	Alto
Puebla	2,330	334	17.1	294	Alto
Querétaro	2,272	547	20.7	465	Medio
Quintana Roo	5,532	850	25.6	1,072	Alto
San Luis Potosí	2,511	179	7.9	202	Bajo
Sinaloa	4,702	664	24.5	908	Alto
Sonora	1,856	547	15.3	193	Alto
Tabasco	555	60	10.0	43	Medio
Tamaulipas	3,856	1,784	11.6	310	Medio
Tlaxcala	1,445	160	5.7	72	Medio
Veracruz Norte	4,532	996	20.8	799	Medio
Veracruz Sur	1,117	427	23.5	201	Medio
Yucatán	5,660	1,729	39.2	1,886	Medio
Zacatecas	1,022	182	15.4	128	Alto
CDMX Norte	15,333	1,260	20.6	2,620	Alto
CDMX Sur	13,245	2,173	23.0	2,569	Alto

Corte 14-julio-2022

Semáforo de alertas COVID-19 (últimos 28 días)

OOAD	Casos sospechosos*	Incapacidades*	% Índice de positividad*	Casos confirmados	Riesgo de brote
Nacional	520,392	290,716	56.7	279,886	Alto
Aguascalientes	9,490	3,271	431.1	4,059	Alto
Baja California	18,853	11,140	52.6	9,200	Alto
Baja California Sur	8,114	5,863	57.7	4,254	Medio
Campeche	3,979	2,446	61.9	2,363	Alto
Coahuila	17,086	7,747	51.1	8,363	Alto
Colima	6,301	2,279	57.4	3,552	Alto
Chiapas	1,855	1,756	75.0	651	Alto
Chihuahua	7,081	6,942	67.8	4,674	Alto
Durango	6,215	5,298	51.7	2,967	Alto
Guanajuato	13,981	7,442	57.1	7,885	Alto
Guerrero	4,157	2,750	57.4	2,076	Alto
Hidalgo	7,094	4,421	52.9	3,597	Alto
Jalisco	21,967	13,740	49.3	9,059	Medio
México Oriente	44,809	29,326	61.0	28,843	Alto
México Poniente	19,062	12,773	60.3	10,891	Alto
Michoacán	5,316	3,390	54.2	2,601	Alto
Morelos	5,012	1,921	46.1	2,265	Alto
Nayarit	9,090	3,037	50.8	4,300	Alto
Nuevo León	45,335	25,564	55.2	24,171	Alto
Oaxaca	9,068	3,474	53.6	4,816	Alto
Puebla	10,439	5,995	60.3	6,154	Alto
Querétaro	15,551	9,057	59.7	8,615	Alto
Quintana Roo	21,523	10,400	58.7	12,516	Medio
San Luis Potosí	8,514	4,273	50.6	4,249	Alto
Sinaloa	13,373	7,346	55.9	6,588	Medio
Sonora	8,653	5,835	60.5	4,933	Alto
Tabasco	3,601	3,001	56.8	2,026	Alto
Tamaulipas	10,967	8,538	56.8	5,351	Alto
Tlaxcala	4,294	1,403	48.0	2,046	Alto
Veracruz Norte	18,871	12,049	59.8	11,051	Alto
Veracruz Sur	6,823	5,562	62.5	4,060	Alto
Yucatán	19,776	11,282	67.6	13,065	Alto
Zacatecas	3,288	1,253	46.8	1,519	Alto
CDMX Norte	64,983	22,586	53.5	34,528	Alto
CDMX Sur	45,871	28,745	60.8	27,595	Alto

Corte 08-septiembre-2022

Semáforo de alertas COVID-19 (últimos 28 días)

OOAD	Casos sospechosos*	Incapacidades*	% Índice de positividad*	Casos confirmados	Riesgo de brote
Nacional	246,894	70,883	31.8	73,572	Bajo
Aguascalientes	7,209	1,671	30.3	2,160	Bajo
Baja California	11,054	4,547	42.9	3,721	Bajo
Baja California Sur	3,625	1,503	36.1	1,198	Bajo
Campeche	1,972	763	18.7	258	Bajo
Coahuila	9,368	2,069	25.7	2,342	Bajo
Colima	4,293	299	13.2	564	Bajo
Chiapas	948	742	48.6	213	Bajo
Chihuahua	6,242	3,439	48.9	2,981	Bajo
Durango	3,538	548	25.3	810	Bajo
Guanajuato	9,797	2,275	33.8	3,271	Bajo
Guerrero	1,614	671	25.1	356	Bajo
Hidalgo	4,925	1,841	37.7	1,799	Bajo
Jalisco	14,486	5,351	33.0	4,017	Bajo
México Oriente	14,057	3,487	31.4	3,762	Bajo
México Poniente	8,740	3,577	41.8	3,531	Bajo
Michoacán	4,197	1,600	41.1	1,596	Bajo
Morelos	3,498	1,199	39.7	1,373	Bajo
Nayarit	5,001	657	20.0	973	Bajo
Nuevo León	18,641	3,810	29.0	5,180	Bajo
Oaxaca	6,265	1,670	35.3	2,173	Bajo
Puebla	6,765	2,450	48.9	3,253	Bajo
Querétaro	7,720	3,416	47.6	3,445	Bajo
Quintana Roo	6,432	438	9.0	578	Bajo
San Luis Potosí	5,616	2,292	46.2	2,581	Bajo
Sinaloa	6,330	2,243	28.3	1,302	Bajo
Sonora	5,454	2,385	41.6	1,828	Bajo
Tabasco	962	220	20.7	198	Bajo
Tamaulipas	5,321	2,787	43.5	2,039	Bajo
Tlaxcala	3,476	997	42.0	1,405	Bajo
Veracruz Norte	6,210	1,284	21.4	1,306	Bajo
Veracruz Sur	2,388	1,076	33.4	794	Bajo
Yucatán	11,365	2,145	12.1	1,304	Bajo
Zacatecas	3,011	896	44.3	1,328	Bajo
CDMX Norte	17,908	2,153	26.2	4,664	Bajo
CDMX Sur	18,196	3,298	29.0	5,233	Bajo