

# Simulador de toma de decisiones en pandemias y otras catástrofes

*Decision-making simulator for pandemics and other disasters.  
Executive summary*

INFORME DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS  
AETSA



# Simulador de toma de decisiones en pandemias y otras catástrofes

*Decision-making simulator for  
pandemics and other disasters.  
Executive summary*

INFORMES DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS  
AETSA



Aguilera Cobos, Lorena

Simulador de toma de decisiones en pandemias u otras catástrofes. Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López, Miguel Luque Rodríguez, Rocío Rodríguez López, Antonio Gutiérrez Pizarra, Juan Antonio Blasco Amaro. — Sevilla: AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía, Madrid: Ministerio de Sanidad, 2025.

194 p; 24 cm. (Colección: Informes, estudios e investigación. Ministerio de Sanidad. Serie: Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias)

1. Simulación 2. Modelización 3. Pandemias 4. Epidemias 5. Gestión clínica. 6. Gestión sanitaria I. Aranda López Jesús II. Luque Rodríguez Miguel III. Rodríguez López Rocío IV. Gutiérrez Pizarra A V. Blasco Amaro Juan Antonio VI. Andalucía. AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía. VII. España. Ministerio de Sanidad.

Autores: Lorena Aguilera-Cobos, Jesús Aranda-López, Miguel Luque-Rodríguez, Rocío Rodríguez-López, Antonio Gutiérrez-Pizarra y Juan Antonio Blasco-Amaro.

Este documento ha sido realizado por la AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía en el marco de la financiación del Ministerio de Sanidad para el desarrollo de las actividades del Plan anual de Trabajo de la Red Española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del SNS, aprobado en el Pleno del Consejo Interterritorial del SNS el 23 de junio de 2023

Edita: AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía  
Consejería de Sanidad, Presidencia y Emergencias

## **Junta de Andalucía**

Avda. de la Innovación n.º 5. Edificio ARENA 1. Planta baja  
41020 Sevilla. España – Spain

[aetsa.csalud@juntadeandalucia.es](mailto:aetsa.csalud@juntadeandalucia.es)

[www.aetsa.org](http://www.aetsa.org)

MINISTERIO DE SANIDAD

Paseo del Prado 18-20. 28014 Madrid. España

**Depósito legal:** SE 2913-2025

**NIPO:** en tramite

**DOI:** <http://doi.org/10.52766/WPLG6521>



Simulador de toma de decisiones en pandemias u otras catástrofes.  
© 2025 de Lorena Aguilera Cobos esta obra está bajo licencia CC BY 4.0.  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cita sugerida:

Aguilera-Cobos L, Aranda J, Luque-Rodríguez M, Rodríguez-López R, Gutiérrez-Pizarra A, Blasco-Amaro JA. Simulador de toma de decisiones en pandemias u otras catástrofes. Sevilla: Madrid: AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía; Ministerio de Sanidad; 2025.



# Simulador de toma de decisiones en pandemias y otras catástrofes

*Decision-making simulator for pandemics and other disasters.  
Executive summary*

INFORMES DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS  
AETSA







# Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen intereses que puedan competir con el interés primario y los objetivos de este informe e influir en su juicio profesional al respecto.



# Autoría

- Planificación y diseño de la investigación: Juan Antonio Blasco Amaro, Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López y Rocío Rodríguez López.
- Documentación: Rocío Rodríguez López y Lorena Aguilera Cobos.
- Obtención de los datos: Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López y Miguel Luque Rodríguez.
- Análisis y presentación de los resultados: Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López, Antonio Gutiérrez Pizarra y Miguel Luque Rodríguez.
- Elaboración del manuscrito: Lorena Aguilera Cobos y Juan Antonio Blasco Amaro.
- Revisión final del documento: Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López, Miguel Luque Rodríguez, Rocío Rodríguez López, Antonio Gutiérrez Pizarra y Juan Antonio Blasco Amaro.
- Este manuscrito ha sido leído y aprobado por todos los autores.

# Revisión

Este trabajo se ha beneficiado de las aportaciones del investigador en evaluación de tecnología sanitarias José María Maesa Márquez como revisor interno.

# Agradecimientos

AETSA y los autores agradecen la colaboración y revisión desinteresada y la generosa aportación de información y experiencia de Sergio Maeso Martínez, médico especialista en medicina preventiva y salud pública actualmente miembro del Centro Nacional de Epidemiología.

Los contenidos del informe son responsabilidad de los autores, procediendo la eximente habitual en el caso de los revisores.



# Índice

Índice de tablas y figuras .....	15
Listado de abreviaturas.....	17
Resumen estructurado .....	19
Executive summary .....	23
Justificación .....	27
Introducción .....	29
Descripción del problema de salud y uso actual de la tecnología.....	29
Descripción de la tecnología.....	34
Objetivo .....	41
Metodología .....	43
1. Tipo de estudio .....	43
2. Búsqueda.....	43
3. Criterios de selección de los artículos recuperados .....	44
4. Selección de los estudios y extracción de los datos .....	46
5. Evaluación de la calidad metodológica .....	48
6. Síntesis de los resultados .....	49
Resultado .....	51
Resultado de la búsqueda .....	51
Descripción de los estudios incluidos.....	51
Calidad de los estudios incluidos .....	73
Resultados del escenario analizado .....	74
Resultados de la perspectiva analizada.....	82
Resultados de la intervención analizada.....	83
Resultados de los indicadores para la simulación o modelado.....	96
Información recopilada de los expertos.....	123
Resumen cuantitativo de los resultados .....	124

Discusión.....	141
Limitaciones del informe.....	146
Lagunas del conocimiento.....	147
Conclusiones.....	148
Referencias.....	151
Anexos .....	159
Anexo 1. Listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XXI.....	159
Anexo 2. Código en <i>Rstudio</i> para la representación de la Figura 2.....	162
Anexo 3. Estrategias de búsqueda.....	163
Anexo 4. Diagrama de flujo.....	183
Anexo 5. Estudios excluidos.....	184
Anexo 6. Calidad de los estudios incluidos .....	188

# Índice de tablas y figuras

Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas .....	53
Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado .....	76
Tabla 3. Principales resultados de la perspectiva analizada .....	82
Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada .....	85
Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado .....	97
 Figura 1. Diferencia entre inteligencia artificial, <i>machine learning</i> y <i>deep learning</i> .....	 38
Figura 2. Número de publicaciones en PubMed de las 4 estrategias lanzadas.....	39
Figura 3. Porcentaje de RS incluidas según su calidad evaluadas con AMSTAR2 .....	73
Figura 4. Porcentaje de RS incluidas según la pandemia objeto de modelización o simulación.....	125
Figura 5. Porcentaje de los estudios primarios de las RS incluidas según la pandemia objeto de modelización o simulación .....	126
Figura 6. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas.....	130
Figura 7. Indicadores de salud pública y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas.....	131
Figura 8. Otros indicadores (no clínicos ni de gestión) y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas .....	132
Figura 9. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector .....	134
Figura 10. Indicadores de gestión sanitaria y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector....	135

Figura 11. Otros indicadores (no clínicos ni de gestión) y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector .....	137
Figura 12. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias no COVID19 y que no requieren vector .....	139
Figura 13. Indicadores de gestión sanitaria y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias no COVID19 y que no requieren vector .....	140



# Listado de abreviaturas

ANN: *Artificial Neural Network*.

ARIMA: *Autoregressive integrated moving average*.

CDNN: *Convolutional deep neural network*.

CPAF: Comisión de Prestaciones, Aseguramiento y Financiación.

DL: *Deep learning*.

EPI: Equipo de protección individual.

GMDH: *Group method of data handling*.

GRU: *Gated recurrent unit*.

IA: Inteligencia artificial.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

INF: Intervenciones no farmacológicas.

k-NN: *k-Nearest Neighbor*.

KPI: *Key performance indicator*.

LR: *Logistic regression*.

LSTM: *Long Short-Term Memory*.

MA: Metaanálisis.

ML: *Machine learning*.

NA: No aplica.

ND: No descrito.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PA: *Power amplifier*.

RDT: Test diagnóstico rápido.

RedETS: Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del SNS.

RNN: *Recurrent Neural Network*.

RS: Revisión sistemática.

SEICIR: Susceptible, expuesto, infectado, contaminado, aislado infeccioso, recuperado, fallecido.

SEIFR: Susceptible, expuesto, infeccioso, funeral, recuperado.

SEIHBDR: Susceptible, latente, infeccioso, hospitalizado, fallecido, enterrado.

SEIHFCFBR: Susceptible, expuesto, infectado, hospitalizado, recuperado, enterrado.

SEIHFR: Susceptible, expuesto, infeccioso, hospitalizado, fallecido no enterrado, enterrado.

SEIHP: Susceptible, latente, infeccioso, hospitalizado, enterrado.

SEIHR: Susceptible, expuesto, infeccioso, hospitalizado, recuperado.

SEIIHHR: Susceptible, expuesto, infeccioso (comprobado), infeccioso (no comprobado), tratado en centros especializados en Ébola, recuperado.

SEIIRHF: Susceptible, expuesto, sintomático, recuperado, fallecido, enterrado.

SEIR: Susceptible, expuesto, infeccioso, recuperado.

SEIRDC: Susceptible, expuesto, sintomático, recuperado, fallecido, cremado.

SEOTRDTRTD: Susceptible, expuesto, infeccioso (no reportado), tratado (reportado), fallecido (no reportado), recuperado (reportado), fallecido (reportado).

SIR: Susceptible, infectado, recuperado.

SVM: *Support vector machines*.

TAC: Tomografía axial computarizada.

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

UNDRR: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.

VIH: Virus de la inmunodeficiencia humana.

# Resumen estructurado

**Título:** Simulador de toma de decisiones en pandemias u otras catástrofes.

**Autores:** Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López, Miguel Luque Rodríguez, Rocío Rodríguez López, Antonio Gutiérrez Pizarra y Juan Antonio Blasco Amaro.

## Introducción

Las catástrofes son circunstancias excepcionales sobrevenidas que aumentan de gran manera el potencial número de muertes en una población. Estas catástrofes pueden deberse a causas naturales (terremotos, incendios, volcanes, inundaciones, etc.), causas humanas (terrorismo, guerras, situaciones de conflicto, etc.) o el brote o la expansión de una enfermedad, especialmente las infecciosas (epidemia, pandemia, etc.). Independientemente de su origen, estas catástrofes son eventos disruptivos en el sistema sanitario que pueden desembocar en una situación de emergencia sanitaria. La previsión de la evolución de la catástrofe a nivel sanitario, las posibles necesidades del sistema sanitario ante estas eventualidades y su correcto manejo en todas las fases de la catástrofe se colocan como elementos centrales para poder dar una mejor respuesta desde el punto de vista sanitario, lo cual podría mitigar las consecuencias del desastre en la población. La aplicación de la simulación para la toma de decisiones en medicina se basa en la recreación de escenarios sanitarios, según datos recabados de las variables analizadas y gracias a la aplicación de algoritmos, para obtener información sobre la posible repercusión (positiva, negativa o neutra) de las decisiones sobre las variables finales en el entorno recreado.

## Objetivo

El objetivo principal de este informe es la identificación de indicadores y variables aplicables a las metodologías de modelización y simulación para la toma de decisiones en brotes de enfermedades, epidemias y pandemias.

## Método

Revisión sistemática de la literatura siguiendo las recomendaciones recogidas por la declaración PRISMA y la metodología de análisis de contenido, para responder a la pregunta de investigación en formato SPICE (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) sin incluirse comparador. La extracción de los datos se realizó siguiendo la metodología de análisis de contenido. Este tipo de análisis es un método de investigación para interpretar y cuantificar datos textuales, su singularidad radica principalmente en su

capacidad para convertir datos textuales cualitativos en datos cuantitativos, que luego pueden examinarse sistemáticamente. Para la localización de la evidencia se realizaron búsquedas en bases de datos referenciales (Medline Ovid), Embase (Elsevier), la biblioteca Cochrane (Wiley), *The Web of Science* (FECYT) *Core Collection*, *International HTA database* (InaHTA) y PsycInfo (EBSCO), Trip PRO Database, *The Health Evidence Database* y en recursos especializados en COVID19 (*The WHO COVID19 Research Database*, *The COVID19 Evidence Network to support Decision-making* (COVID-END) y *The Wales COVID19 Evidence Centre*). La herramienta seleccionada para evaluar la calidad de los estudios incluidos fue AMSTAR2.

## Resultados

Como resultado de las búsquedas en las bases de datos referenciales y en otros recursos electrónicos, previamente enumerados, y limitadas a RS y MA, se identificaron un total de 1543 estudios, de los cuales 1116 no estaban duplicados. Se realizó una primera selección por pares independientes en base a título y resumen, descartándose inicialmente 1034 estudios por no cumplir con los criterios de inclusión o por cumplir algunos de los criterios de exclusión. Las discrepancias se solucionaron por consenso. De los 82 documentos que fueron leídos a texto completo, finalmente se seleccionaron por pares 20 para su análisis.

La calidad de los estudios incluidos osciló entre moderada y críticamente baja (13 estudios obtuvieron una evaluación de calidad críticamente baja, 1 estudio calidad baja y 6 estudios calidad moderada). Ninguna de las RS incluidas alcanzó la calidad máxima que recoge AMSTAR2.

Respecto al **escenario**, 12 de las 20 RS incluyen solamente estudios cuyo objetivo es la simulación o modelización de la progresión de la pandemia COVID19, tal y como explicitan en sus criterios de inclusión o exclusión. 7 de las 20 RS incluidas en este informe, abordan cada una de ellas una pandemia. Solamente 1 de las 20 RS incluye estudios cuyo objeto de modelización o simulación son diferentes. Dado el elevado número de RS cuyo objeto es el análisis de los modelos y simuladores para la pandemia COVID19, se plantea el análisis desagregado del resto de resultados en COVID19 y no-COVID19, para evitar un posible sesgo por escenario.

Respecto a la **perspectiva** objeto de modelización o simulación se intentaron recopilar datos sobre: el ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario, el tipo de financiación del sistema sanitario contemplado, y la adaptabilidad del modelo o simulador a otros sistemas sanitarios o niveles asistenciales. Sin embargo, solamente se obtuvieron estos resultados en 4 de las RS incluidas y para uno de los apartados (ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario).

Respecto a la **intervención**, solamente una de las RS incluidas incluía una pequeña proporción de estudios cuya simulación contemplaba pacientes con patologías no directamente relacionadas con la enfermedad (patología cardíaca

crónica). Respecto a las metodologías de modelización y simulación aplicadas por los estudios incluidos en las RS, 11 de las 20 RS incluyen modelizaciones de evoluciones de pandemia como estudios primarios mientras que 9 RS incluyen simulaciones. El uso de IA, ML o DL por parte de los estudios primarios incluidos se recoge en 9 de las 20 RS.

Respecto a los indicadores a evaluar y las variables que los definen, se dividieron en indicadores generales, de gestión sanitaria y otro tipo de medidas. A su vez, se realizó un análisis desagregado según las pandemias objeto de simulación o modelización. Los indicadores que presentan una mayor frecuencia en todos los tipos de simuladores y modelos independientemente de la enfermedad causante son el estado del paciente, la evolución de la pandemia y la transmisión. Las medidas de gestión y de salud pública que presentan una mayor frecuencia en todos los tipos de simuladores y modelos independientemente de la enfermedad causante son las medidas de control y restricción, los planes de vacunación y la gestión de las necesidades hospitalarias. En la categoría de indicadores definidos como otros indicadores, presentan una mayor frecuencia en todos los tipos de los simuladores y modelos de las RS incluidas los indicadores climatológicos y poblacionales.

## **Conclusiones**

A través del análisis de las 20 RS incluidas, a pesar de su baja calidad, se han identificado simuladores y modelos matemáticos para la toma de decisiones en epidemias o pandemias mediante la recreación de escenarios con variables clínicas y de gestión. Los recursos informáticos y las metodologías de modelados matemáticos y simulaciones actuales pueden permitir el desarrollo e implementación de simuladores para la toma de decisiones clínicas o de gestión en brotes de enfermedades, pandemias y epidemias. Este tipo de simuladores pueden contribuir de manera complementaria en la toma de decisiones en salud pública y a nivel asistencial para proteger la salud de la población. Sin embargo, es necesaria la validación y evaluación de su metodología de forma estandarizada, y la homogeneización de las metodologías de simulación y modelado matemático, así como de los indicadores y variables, aunque estos puedan reflejar singularidades de las enfermedades objetos de estudio.



# Executive summary

**Title:** Decision-making simulator for pandemics and other disasters.

**Authors:** Lorena Aguilera Cobos, Jesús Aranda López, Miguel Luque Rodríguez, Rocío Rodríguez López, Antonio Gutiérrez Pizarra and Juan Antonio Blasco Amaro.

## Introduction

Disasters are exceptional circumstances that occur and greatly increase the potential number of deaths in a population. These disasters can be due to natural causes (earthquakes, fires, volcanoes, floods, etc), human causes (terrorism, wars, conflict situations, etc) or the outbreak or spread of a disease, especially infectious diseases (epidemic, pandemic, etc). Regardless of their origin, these disasters are disruptive events in the health system that can lead to a health emergency. Forecasting the evolution of the disaster at the health level, the possible needs of the health system in the face of these eventualities and its appropriate response in all phases of the disaster are central elements in order to provide a better management from the health point of view, which could mitigate the consequences of the disaster on the population. The application of simulation for decision-making in medicine is based on the recreation of health scenarios, according to data collected from the variables analysed and thanks to the application of algorithms, to obtain information on the possible repercussions (positive, negative or neutral) of decisions on the final variables in the recreated environment.

## Objective

The main objective of this report is to identify indicators and variables applicable to modelling and simulation methodologies for decision-making in disease outbreaks, epidemics and pandemics.

## Methods

Systematic literature review following the recommendations of the PRISMA statement and the content analysis methodology, to answer the research question in SPICE format (scenario, perspective, intervention, comparator and evaluation) without including a comparator. Data extraction was carried out following the content analysis methodology. This type of analysis is a research method for interpreting and quantifying textual data, its uniqueness lies mainly in its ability to convert qualitative textual data into quantitative data, which can then be systematically examined. To locate the evidence, we searched reference databases (Medline (Ovid), Embase (Elsevier), Cochrane Library (Wiley), The

Web of Science (FECYT) Core Collection, International HTA database (InaHTA) and PsycInfo (EBSCO), Trip PRO Database and The Health Evidence Database) and specialised resources in COVID19 (The WHO COVID19 Research Database, The COVID19 Evidence Network to support Decision-making (COVID-END) and The Wales COVID19 Evidence Centre). The tool selected to assess the quality of the included studies was AMSTAR2.

## Results

As a result of searches of reference databases and other electronic resources, previously listed, and limited to SR and MA, a total of 1543 studies were identified, of which 1116 were not duplicated. A first independent pairwise selection was performed on the basis of title and abstract, initially discarding 1034 studies for not meeting the inclusion criteria or for meeting some of the exclusion criteria. Discrepancies were resolved by consensus. Of the 82 papers that were read in full text, 20 were finally selected by pairs for analysis.

The qualities of the included studies ranged from moderate to critically low (13 studies obtained a critically low quality assessment, 1 study low quality and 6 studies moderate quality). None of the included SRs reached the maximum quality as defined by AMSTAR2.

Regarding the **scenario**, 12 of the 20 SRs include only studies whose objective is the simulation or modelling of the progression of the COVID19 pandemic, as explicitly stated in their inclusion or exclusion criteria. Seven of the 20 SRs included in this report each address one pandemic. Only 1 of the 20 SRs includes studies whose object of modelling or simulation are different. Given the high number of SRs whose object is the analysis of models and simulators for the COVID19 pandemic, the disaggregated analysis of the rest of the results into COVID19 and non-COVID19 is proposed, to avoid possible bias by scenario.

With respect to the **perspective** object of modelling or simulation, an attempt was made to collect data on: the scope of application within the health system, the type of health system financing contemplated, and the adaptability of the model or simulator to other health systems or levels of care. However, these results were only obtained in 4 of the SRs included and only for one of the sections (scope of application within the health system).

Regarding **intervention**, only one of the included SRs included a small proportion of studies whose simulation included patients with pathologies not directly related to the disease (chronic cardiac pathology). Regarding the modelling and simulation methodologies applied by the studies included in the SRs, 11 of the 20 SRs include modelling of pandemic evolutions as primary studies while 9 SRs include simulations. The use of AI, ML or DL by the included primary studies is reported in 9 of the 20 SRs.



Regarding the indicators to be evaluated and the variables, they were divided into clinical indicators, clinical management or hospital policy indicators and other types of indicators. In turn, a disaggregated analysis was performed according to the pandemics being simulated or modelled. The clinical indicators with the highest frequency in all types of simulators and models regardless of the causative disease are patient status, pandemic development and transmission. The management indicators with the highest frequency in all types of simulators and models regardless of the causative disease are control and restriction measures, vaccination plans and management of hospital needs. In the category of indicators that were neither clinical nor management indicators, defined as other indicators, they have a higher frequency in all types of SR simulators and models including climatological and population indicators.

## **Conclusions**

Through the analysis of the 20 SRs included, despite their low quality, we have identified simulators and mathematical models for decision-making in epidemics or pandemics by recreating scenarios with clinical and management variables. Thanks to this evidence, we conclude that current computer resources and mathematical modelling and simulation methodologies allow the development and implementation of simulators for clinical or management decision-making in disease outbreaks, pandemics and epidemics. These types of simulators can contribute in a complementary way to clinical or management decision-making to obtain beneficial results for the population affected by the pandemic, allowing their measurement through these same indicators. However, it is necessary to validate and evaluate their methodology in a standardized way, and to homogenize the *Simulation and* mathematical modelling methodologies, as well as the indicators and variables, although these may reflect singularities of the diseases under study.



# Justificación

La toma de decisiones asistenciales y de salud pública basada en conocimientos o experiencias previas es una práctica muy común en los entornos sanitarios. Esta toma de decisiones debe seguir unos patrones estandarizados que permitan una adecuada respuesta del sistema sanitario a posibles situaciones de máximo tensionamiento, como epidemias u otras catástrofes. En un contexto de tensionamiento sanitario el sistema debe ser capaz de dar respuesta a los usuarios afectados por el evento catastrófico, así como mantener el correcto manejo de pacientes con patologías no relacionadas con la pandemia o catástrofe, especialmente en las patologías tiempo dependientes o crónicas.

Durante la pandemia COVID19 muchos centros sanitarios, de diferentes países, se vieron desbordados ante el creciente número de pacientes, ingresos y decesos. A partir de esta pandemia y otras catástrofes anteriores se puede aprender de las tomas de decisiones adoptadas en distintos niveles del entorno sanitario permitiendo sistematizar la evaluación y la métrica de su rendimiento.

La existencia de simuladores para la toma de decisiones en pandemias y otras catástrofes podría suponer una mejora para tomar decisiones fundamentadas. Estos simuladores deben considerar indicadores clínicos y de gestión sanitaria, y otras variables de resultado para su medición adecuada. Además, deben basarse en modelos matemáticos que faciliten las predicciones sobre distintos escenarios. Siguiendo el modelo matemático el simulador debe analizar los indicadores y las correlaciones entre las variables para inferir los efectos de las modificaciones en el sistema de salud. Este análisis podría requerir una gran capacidad de cómputo para generar todos los posibles escenarios y su análisis.

La revisión de simuladores multivariante para la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre en distintos niveles del circuito asistencial y a distintos niveles de gestión sanitaria basada en la evidencia que los sustenta, justifica la necesidad del presente informe que surge a petición de la Comisión de Prestaciones, Aseguramiento y Financiación (CPAF) en el proceso de identificación y priorización de necesidades de evaluación que se lleva a cabo para conformar el Plan de Trabajo Anual de la Red Española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y prestaciones del Sistema Nacional de Salud. Esta evaluación ha sido realizada por AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía, bajo petición del Ministerio de Sanidad.



# Introducción

## Descripción del problema de salud y uso actual de la tecnología

Las **catástrofes** son circunstancias excepcionales sobrevenidas que aumentan de gran manera el potencial número de muertes en una población (1). Estas catástrofes pueden deberse a causas naturales (terremotos, incendios, volcanes, inundaciones...), causas humanas (terrorismo, guerras, situaciones de conflicto...) o la aparición o la expansión de una enfermedad, especialmente las infecciosas (epidemia, pandemia...) (2). Independientemente de su origen, estas catástrofes son eventos disruptivos en el sistema sanitario que pueden desembocar en una situación de emergencia sanitaria (3). La previsión de la evolución de la catástrofe a nivel sanitario, las posibles necesidades del sistema sanitario ante estas eventualidades y su correcta respuesta en todas las fases de la catástrofe se colocan como elementos centrales para poder dar una mejor respuesta desde el punto de vista sanitario, lo cual podría mitigar las consecuencias del desastre en la población (4).

Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, del inglés *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*) y el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, del inglés *Center for Disease Control and Prevention*), han elaborado informes en los que se destaca la necesidad de planes de preparación y respuesta ante catástrofes en los que se contemplen las necesidades sanitarias dentro de un contexto de emergencia en el que intervienen otros actores como el entorno social, económico, educativo, político o ambiental (1,4,5). Estos planes, dentro de los que destaca el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres de la UNDRR (4), tienen como objetivos reducir la mortalidad y el número de personas afectadas por catástrofes, reducir los daños causados a infraestructuras, reducir las pérdidas económicas, mejorar la cooperación internacional, aumentar el número de países que cuentan con estrategias de reducción de riesgo de desastres, e incrementar la disponibilidad de los sistemas de alerta temprana. Hay otros marcos normativos como el Reglamento de amenazas transfronterizas 2022/2371. El concepto catástrofe no es el que suele estar asociado a una epidemia o pandemia sino más bien a desastres naturales.

Dentro de las catástrofes, el presente informe se centra en brotes de enfermedades, epidemias y pandemias. Las situaciones epidémicas y pandémicas vividas a nivel mundial en los últimos años, especialmente la debida al virus

respiratorio SARS-CoV2 (6) declarada pandemia global el 11 de marzo de 2020 por la OMS hasta el 5 de mayo del 2023, han sido situaciones de tensionamiento sanitario de las que las organizaciones sanitarias nacionales e internacionales recomiendan aprender para dar una mejor respuesta a futuros desafíos (7). Estas recomendaciones quedan recogidas en planes como el *European Programme of Work 2020-2025* de la OMS (8), el cual tiene por objeto transformar la salud pública, centrándose en la cobertura sanitaria universal, la protección frente a emergencias sanitarias y la mejora de la salud y el bienestar. En el ámbito de emergencias sanitarias, el que atañe al presente informe, se centra en mejorar la capacidad de reacción en los sistemas sanitarios y sociosanitarios cuando se declara una emergencia sanitaria, con el fin de prestar una mejor atención desde la prevención hasta las intervenciones para salvar vidas (8).

Estas recomendaciones de la OMS (8) y la necesidad de nuevos abordajes de las pandemias surgen dentro de un contexto de uso asentado de los sistemas de modelización dinámica de una enfermedad, y un uso emergente de la simulación. La simulación implica la implementación de sistemas de modelización en un entorno informático para simular la propagación de la enfermedad y evaluar intervenciones a lo largo de un tiempo determinado. El marco que engloba estos contextos es la creciente capacidad de cómputo, que podría permitir la inclusión de variables de gestión sanitaria, simulando la repercusión que dichas medidas tendrían en el comportamiento de la pandemia y en la respuesta del sistema sanitario a esta posible situación de tensionamiento (9).

Estos avances tecnológicos pueden ser aplicados en los entornos sanitarios en diferentes contextos y para diferentes finalidades como el análisis de la expansión de una enfermedad infecciosa (10), el análisis de las cadenas de abastecimiento (11) o la recreación de escenarios para simulacros del personal sanitario (12), entre otros ejemplos. Según la finalidad debe elegirse el tipo de análisis y las variables objeto de análisis adecuadas. Algunas de estas aplicaciones se basan en simulaciones (representaciones del entorno sanitario sobre el que se estudia un cambio), pudiendo estas simulaciones tener diferentes finalidades en el entorno sanitario, como (13):

- **Finalidad educativa:** simulación de un entorno sanitario para educar a los profesionales sanitarios o no sanitarios en las acciones que deben realizar y cómo deben realizarlas.
- **Finalidad de innovación:** simulación de la aplicación de una nueva metodología, procedimiento o tecnología antes de su implementación real en el entorno sanitario.

- **Finalidad de intervención:** simulación de nuevos flujos de trabajo o acciones dentro de un entorno sanitario en un contexto determinado.
- **Finalidad de mejora:** simulación del entorno sanitario actual para mejorar en la simulación y ajustar las mejores prácticas.
- **Finalidad de participación / implicación:** simulación de un entorno sanitario para personas no implicadas directamente en él para mejorar su entendimiento generando nuevas experiencias y perspectivas.
- **Finalidad de inclusión:** simulación del entorno sanitario para que actores principales del sistema tengan una perspectiva más informada de su entorno para tomar decisiones.

Este informe se centra en la aplicación de modelizaciones en simuladores multivariante con finalidad de intervención, mejora e inclusión para la toma de decisiones en situaciones de posible tensionamiento (brote de una enfermedad, epidemia o pandemia) en distintos niveles del circuito asistencial y a distintos niveles de gestión sanitaria (micro, meso y macrogestión sanitaria). Es por ello, que a partir de este punto nos centraremos en estas simulaciones y modelizaciones, así como en las variables que deben de contener para su aplicación.

La aplicación de la simulación para la toma de decisiones en medicina se basa en la recreación de escenarios sanitarios, según datos recabados de las variables analizadas y gracias a la aplicación de algoritmos, para obtener información sobre la posible repercusión (positiva, negativa o neutra) de las decisiones sobre las variables finales en el entorno recreado. Para el caso objeto de análisis en este informe, el entorno recreado es una situación de posible tensionamiento sanitario (definido como pandemia, epidemia o brote de una enfermedad), y nuestro trabajo se centra en una revisión sistemática para la extracción cualitativa y el resumen cuantitativo de los sistemas de modelización y simulación usados, las variables analizadas y las variables finales para conocer el rendimiento hospitalario y el manejo de la situación.

## Carga de la enfermedad

Las catástrofes se pueden dividir en dos grupos principales, según su causa: catástrofes naturales, como las debidas a inundaciones o terremotos, o catástrofes humanas, como las debidas a un ataque terrorista o a un incendio provocado (2).

Sin embargo, este informe se centra en catástrofes pandémicas, epidémicas o debidas al brote de una enfermedad. La OMS las define como (14):

- **Brote:** aparición de casos de enfermedad por encima de lo que cabría esperar normalmente en una comunidad, zona geográfica o estación definidas. Los brotes son mantenidos por agentes infecciosos que se

propagan directamente de persona a persona, por exposición a un reservorio animal u otra fuente ambiental, o a través de un insecto o animal vector. Los comportamientos humanos casi siempre contribuyen a dicha propagación. La detección precoz y la notificación de tales eventos son cruciales para minimizar su impacto social y económico negativo.

- **Epidemia:** propagación de una enfermedad infecciosa más rápidamente de lo que los expertos esperarían, afectando a un área mayor que un brote.
- **Pandemia:** propagación de una enfermedad infecciosa por países o continentes causando un gran número de afectados y fallecidos. Se define también como una emergencia de salud pública causada por una enfermedad transmisible con una amplia propagación geográfica que excede la capacidad de respuesta de los sistemas de salud y causa perturbaciones sociales y/o económicas requiriendo una intervención.

Pueden ser naturales (si se trata de un brote espontáneo de una nueva enfermedad o de una enfermedad que se suponía erradicada o de enfermedades que se pensaban bajo control y muestran un nuevo tipo de comportamiento) o humano (si se trata de un ataque biológico intencionado o debido a un error humano).

Durante la historia de la humanidad han sido numerosas las pandemias o epidemias que han puesto en jaque los sistemas y medidas sanitarios, suponiendo muchas de ellas un punto de inflexión, tanto en el abordaje de nuevas pandemias o brotes, como de los sistemas sanitarios en su conjunto. En el Anexo 1 se muestra un listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial, acotadas al siglo XXI, e incluye su duración y el número de muertes que han causado.

El Anexo 1 permite dar una visión global de las pandemias, epidemias y brotes durante el presente siglo. Teniendo en cuenta los eventos recogidos en la tabla, el número de muertes supera a nivel mundial los 7 millones (7.766.076 fallecimientos), esto unido a la actualidad de la tabla (acotada al siglo XXI), la diversidad de patógenos causantes de las patologías, así como sus mecanismos de transmisión, y sus localizaciones en países de todos los continentes, hacen aún más apremiante aprender de estos eventos a nivel clínico y de gestión sanitaria.

En España la última situación de tensionamiento sanitario debido a una pandemia tuvo lugar entre los años 2020-2023, debido al virus SARS-CoV-2 que origina la enfermedad COVID19. La COVID19 es una enfermedad transmisible de afección predominantemente respiratoria. El SARS-CoV-2 es un virus de la gran familia de los coronavirus. Los coronavirus infectan a seres humanos y algunos animales (6). La principal vía de transmisión



de este virus es de una persona a otra a través de las gotitas que se dispersan cuando la persona infectada tose, estornuda, respira, canta o habla. Su debut fue en Wuhan (provincia de Hubei, China) en diciembre de 2019, el 11 de marzo de 2020 la OMS declaró la pandemia de COVID19, y el 5 de marzo de 2023 la OMS declaró el final de la pandemia. La sintomatología típica de este virus cursa con congestión nasal, fiebre, tos, diarrea, cansancio y en algunos casos pérdida total o parcial de olfato y gusto (15). La mayoría de las personas infectadas con el virus pueden experimentar enfermedades respiratorias de leves a moderadas y se recuperarán sin requerir tratamiento especial. Sin embargo, algunos enfermarán gravemente y necesitarán atención médica. Las personas mayores y aquellas con afecciones médicas subyacentes como enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas o cáncer tienen más probabilidades de desarrollar enfermedades graves. En los casos extremos, los pacientes presentan dificultades respiratorias y neumonía, y es necesario su ingreso en unidades de cuidados intensivos. Cualquiera puede enfermarse de COVID19 y enfermarse gravemente o morir a cualquier edad (15). En España el Instituto Nacional de Estadística (INE) notificó en 2020 60.358 fallecimientos por COVID19 (más 14.481 fallecimientos con síntomas compatibles no confirmados) (16), en 2021 39.444 fallecimientos (17), en 2022 31.606 fallecimientos (18) y en 2023 7.885 fallecimientos (según datos provisionales) (19). Algunas publicaciones sugieren que además de estos fallecimientos podrían añadirse defunciones debidas a retrasos diagnósticos o terapéuticos de otras patologías, como por ejemplo el cáncer, no relacionadas directamente con el COVID19, debidos al tensionamiento de los sistemas sanitarios (20).

Durante la pandemia de COVID19 el déficit general de conocimiento inicial sobre las características del virus y su mecanismo de transmisión, y la ausencia de intervenciones preventivas (vacunas) y terapéuticas específicas obligó a los gobiernos de todo el mundo a poner en marcha un amplio y variado conjunto de medidas o intervenciones preventivas de carácter general y no farmacológicas para controlar la expansión de la epidemia, reducir las consecuencias sobre las personas, y preservar la capacidad de respuesta de los sistemas sanitarios (21). Las intervenciones no farmacológicas (INF) son actuaciones de salud pública para contener o mitigar la transmisión comunitaria del virus SARS-CoV-2 o de cualquier agente infeccioso, al reducir y enlentecer la difusión de los contagios. Según las experiencias internacionales, las INF utilizadas para mitigar la propagación del virus han sido complejas y dinámicas, integrando intervenciones sanitarias, con diferentes intervenciones no sanitarias; para ajustarlas a las peculiaridades epidemiológicas, sociales y económicas del contexto en el que se aplican (22).

# Descripción de la tecnología

Los desafíos y complejidades de las pandemias, epidemias y brotes de enfermedades, algunos de ellos ya enumerados anteriormente, como la transmisión, las intervenciones estratégicas, la interrupción de la cadena de suministro, la gestión de recursos en el sector de la salud y las repercusiones económicas, se han comenzado a abordar también desde la modelización y la simulación para mejorar su manejo desde diferentes perspectivas.

## Modelización en epidemiología

La modelización en epidemiología implica la creación de modelos matemáticos o estadísticos que representan la dinámica de una enfermedad en una población (23). Los modelos pueden ser deterministas, donde las variables tienen valores fijos y predecibles, o estocásticos, donde las variables tienen componentes aleatorios. Los principales modelos matemáticos de modelización usados en epidemiología son (24):

- **Modelos epidemiológicos compartimentales:** modelos que dividen a la población según estados relevantes para la enfermedad estudiada y representan las tasas en las que los individuos cambian de estado. Estos modelos se pueden representar mediante sistemas de ecuaciones diferenciales o tasas estocásticas. Uno de los modelos compartimentales más ampliamente utilizado es el modelo SIR. Este modelo divide la población según si los individuos son susceptibles (S), infecciosos (I) o recuperados (R). Estos modelos pueden ser ampliados para tener en cuenta otros estados, por ejemplo, individuos asintomáticos o para tener en cuenta diferentes tasas de transmisión según características de los individuos, como la edad.
- **Modelos en red o de grafos aleatorios:** los modelos de red (grafos) son modelos que caracterizan las relaciones entre individuos. La infección ocurre sólo entre individuos (nodos) que tienen una conexión entre ellos (arcos o aristas).
- **Modelos basados en agente:** estos modelos modelizan acciones e interacciones de individuos con el objetivo de observar patrones de agregación resultante de dicha interacción.
- **Modelos de teoría de juegos:** modelos que estudian las decisiones de un individuo cuando el resultado de dichas decisiones depende de las decisiones de otros individuos.
- **Modelos de programación estocástica:** técnicas de optimización dinámica que tienen como objetivo encontrar la forma óptima de controlar un sistema a lo largo del tiempo.

## Simulación en epidemiología

La **simulación** en epidemiología implica la implementación de sistemas de modelización en un entorno informático para simular la propagación de una enfermedad a lo largo del tiempo. Los modelos se ejecutan utilizando datos de entrada específicos y parámetros para simular la dinámica de la enfermedad en una población. La simulación para toma de decisiones en pandemias (también en otras catástrofes, pero este informe se centra en pandemias, epidemias y brotes de enfermedades) se basa en el uso de diferentes técnicas y sistemas de modelización. Los tipos de simulación se dividen principalmente en los sistemas de modelización que subyacen en ellos, pudiendo ser determinísticos o estocásticos (dependiendo de la presencia o ausencia de variables aleatorizadas), estáticos o dinámicos (dependiendo si contempla el paso del tiempo entre sus variables), y continuos o discretos (dependiendo del tipo de variables que contengan (25)). Todos estos tipos de simulaciones pueden usarse en campos muy diferentes y para diversos usos, los más ampliamente utilizados para la simulación de escenarios de brote de una enfermedad, pandemia o epidemia, son:

- **Simulación de Monte Carlo (26):** esta simulación es del tipo estocástico estático, es habitualmente usada para evaluar el riesgo cuando se experimenta un cambio significativo en el entorno evaluado. Generalmente puede definirse como una metodología para obtener estimaciones de la solución de problemas matemáticos mediante números aleatorios.
- **Sistema dinámico (27):** usa un modelo de modelización compartimental estocástico, dinámico y continuo, y se basa en ecuaciones diferenciales para el modelado de sistemas con un comportamiento no linear generando interacciones en bucle positivas y negativas.
- **Simulación basada en agente o *Agent-based simulation* (28):** usa un modelo de modelización basado en agente que es del tipo estocástico, dinámico y discreto. Se usa para simular dentro de un sistema el impacto de un nuevo “agente”, pudiendo ser este agente equipamiento, personas o un nuevo protocolo de actuación. Esta simulación permite la exploración de sistemas complejos que muestran dependencia de sus componentes y bucles de retroalimentación en los mecanismos causales.

- **Simulación de eventos discretos (29):** usa un modelo de modelización del tipo estocástico, dinámico y discreto. Principalmente utilizado para observar el impacto de un evento específico en el sistema, permite aplicar los procedimientos de simulación estocástica, para representar un sistema en el que las variables aleatorias que lo componen están relacionadas.
- **Simulación híbrida:** este tipo de simulación integra dos o más sistemas de modelización. Esta aproximación puede ser de especial interés en poblaciones heterogéneas o en escenarios con gran cantidad de variables.

## Aplicaciones de la simulación en epidemiología

Dadas las diversas complejidades, ya mencionadas a lo largo de este informe, que supone una pandemia para la población y el contexto sanitario, estas han sido abordadas para su simulación con diferentes objetivos dependiendo principalmente de si la perspectiva era clínica o de gestión de recursos sanitarios (25). Para ambos objetivos la correcta simulación será dependiente de las características de la pandemia (la sintomatología, la tasa de contagio, el mecanismo de transmisión...), por lo que si la herramienta de simulación pretende ser adaptable a distintos tipos de pandemias debe tener en cuenta estas particularidades.

Desde la **perspectiva epidemiológica** alguna de las variables tenidas en cuenta para la simulación de escenarios de pandemia o su evolución pueden ser (25): las INF, el número de contagios, el porcentaje de test positivos o negativos, el número de pacientes aislados, el número de fallecimientos o el número de pacientes hospitalizados o en cuidados intensivos.

Desde la **perspectiva de gestión** de recursos sanitarios alguna de las variables tenidas en cuenta para la simulación de escenarios de pandemia o su evolución pueden basarse en indicadores de rendimiento hospitalarios (KPI del inglés, *Key Performance Indicator*). Los KPI son elementos específicos y medibles del sistema sanitario y sociosanitario que pueden ser usados para evaluar la calidad de los cuidados clínicos (30). Estos elementos se basan en estándares basados en evidencia generada a través de la literatura o mediante el consenso de expertos. Algunas de estas variables pueden incluir (25,30): capacidad de los hospitales, recursos de personal y recursos materiales, puntos débiles y fortalezas de las cadenas de abastecimiento o reparto de test y vacunas.

En líneas generales, sí se puede establecer que los modelos y simuladores pueden ser de utilidad para epidemiólogos, gestores de unidades clínicas, gestores de centros sanitarios o sociosanitarios, o expertos en evaluación del rendimiento hospitalario. Aunque hay que tener en cuenta, los usuarios de esta tecnología dependerán de las variables objeto de simulación y análisis, así como de los escenarios y entornos simulados.

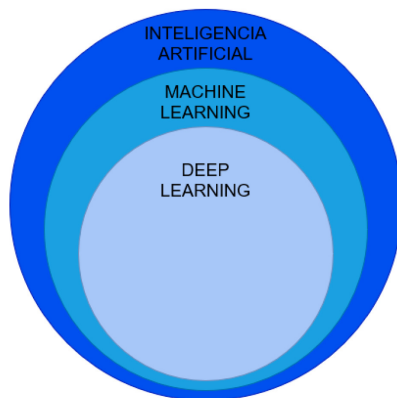
## Evolución de la tecnología

Las técnicas de modelización y simulación se han visto potenciadas en la última década por el desarrollo de la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (ML, del inglés *Machine learning*), y el aprendizaje profundo (DL, del inglés *Deep Learning*). Dado el reciente origen de esta terminología es necesaria su adjunta a continuación sus definiciones y se acompañan con la Figura 1 (31):

- La **IA** es una disciplina que busca crear *softwares* o sistemas informáticos capaces de adquirir información de su entorno, convertirla en conocimiento y utilizarla para tomar decisiones o conseguir objetivos. Para la aplicación de la IA en el ámbito sanitario se necesitan datos generados desde actividades asistenciales como diagnóstico, tratamientos y seguimiento hasta desarrollar, probar y validar algoritmos. Los métodos de IA se pueden dividir en cuatro categorías principales: ML, métodos de regresión y probabilísticos, aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo.
- El **ML** es un área de la IA en la que se analizan muestras de datos reales que reflejan el proceso que se quiere mejorar o automatizar. Se trata de un proceso de entrenamiento de algoritmos: el sistema extrae conclusiones relevantes o aprende a realizar una tarea sin ser programado previamente, solo a partir de lo que observa en los datos. Los algoritmos de ML combinan los puntos fuertes de la informática y la ciencia de datos para encontrar el ajuste óptimo entre enfoques teóricos y soluciones basadas en datos, lo que permite el desarrollo de herramientas que pueden resolver problemas en períodos de tiempo razonables. Hay dos enfoques principales en ML, el aprendizaje supervisado para resolver problemas de clasificación y regresión basado en conjuntos de datos de entrada etiquetados y el aprendizaje no supervisado, que busca encontrar patrones en conjuntos de datos inexplicables y sin etiquetar. Normalmente los pipelines implican el uso de aprendizaje no supervisado para preprocesar datos y seleccionar características que explican la naturaleza de los datos, para posteriormente aplicar aprendizaje supervisado para proporcionar resultados clínicamente relevantes. El aprendizaje de redes neuronales es una evolución del ML y tiene la capacidad de generar múltiples combinaciones no lineales de datos para crear modelos. Este enfoque combina las redes neuronales que replican la estructura y el comportamiento de un cerebro humano en la forma en que conecta varias unidades de procesamiento en múltiples capas para ajustar su configuración según los datos aportados.

- El **DL** es una aplicación del ML que utiliza algoritmos complejos y redes neuronales para entrenar un modelo.

**Figura 1. Diferencia entre inteligencia artificial, *machine learning* y *deep learning***



## Evolución de la visibilidad de los términos en la literatura científica

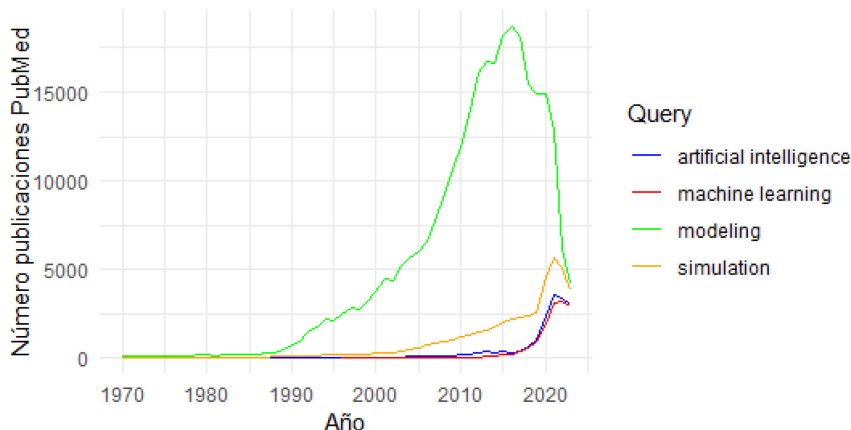
En este informe se ha realizado un análisis de la evolución de los términos referentes a la modelización, la simulación, la IA y el ML en la toma de decisiones en situaciones de pandemia, epidemia o brote de una enfermedad. Para ello, se analiza la presencia de estos términos en relación con las situaciones objeto de análisis en la base de datos PubMed a lo largo de los años en título y resumen. Las estrategias de búsqueda lanzadas en PubMed para cada uno de los supuestos fueron las siguientes:

- *(Pandemic OR epidemic OR outbreak) AND artificial intelligence.*
- *(Pandemic OR epidemic OR outbreak) AND machine learning.*
- *(Pandemic OR epidemic OR outbreak) AND modeling.*
- *(Pandemic OR epidemic OR outbreak) AND simulation.*

Se usaron estos términos por ser los más frecuentemente utilizados en la literatura. Dada la simplificación utilizada para esta estrategia de búsqueda, y por tanto sus numerosos sesgos, esta debe ser tomada en cuenta solamente para tener una primera aproximación a la evolución del desarrollo de estas tecnologías, sin ser la estrategia de búsqueda utilizada en esta revisión.

Una vez obtenidos los números de publicaciones de la base de datos PubMed a partir de las 4 estrategias lanzadas, estos fueron representados en el programa RStudio, gracias al desarrollo del código incluido en el Anexo 2. La representación se adjunta en la gráfica de la Figura 2.

**Figura 2: Número de publicaciones en PubMed de las 4 estrategias lanzadas**



En la representación de la Figura 2, se puede observar como la aplicación de la modelización en situaciones de pandemia, epidemia o brote de una enfermedad comienza en la década 1980, aunque es a partir de 1990 y especialmente del 2000 cuando se acentúa el número de publicaciones que contienen este término, coincidiendo con el desarrollo de la computación. Hasta la década de 2010 no comienza el crecimiento del número de publicaciones que contienen el término simulación asociado a situaciones de pandemia. Es lógico que el auge en el número de publicaciones del término simulación sea posterior a la modelización, ya que la simulación implica la implementación de sistemas de modelización. A partir de finales de la década de 2010 surgen las publicaciones que incluyen los términos IA o ML asociados a situaciones de pandemia, lo que nos permite avalar el reciente desarrollo de estas tecnologías y su reciente inclusión en la epidemiología, sin poder dilucidar cuan predominante será su papel en las próximas décadas.





# Objetivo

El objetivo principal de este informe es la identificación de indicadores y variables aplicables a las metodologías de modelización y simulación dentro del ámbito asistencial en situaciones de pandemia utilizadas para la toma de decisiones.

Los objetivos específicos son:

- Identificación, extracción cualitativa y resumen cuantitativo de los indicadores detectados en las modelizaciones o simuladores incluidos.
- Identificación de los contextos de uso las modelizaciones o simuladores incluidos.
- Identificación de las metodologías de modelización y/o simulación recogidas en los estudios incluidos.

Para la consecución de estos objetivos, se plantea la pregunta de investigación en formato SPICE (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) (32):

***¿Cuáles son los indicadores de salud pública y de gestión utilizados en modelización o simulación para la toma de decisiones dentro de la perspectiva del sistema sanitario en un escenario de brote de una enfermedad, pandemia o epidemia?***



# Metodología

## 1. Tipo de estudio

Revisión sistemática de la literatura hasta febrero de 2024 sin límite de fecha con límite por tipo de estudio a revisiones sistemáticas o metanálisis, respondiendo a la pregunta de investigación en formato SPICE planteada previamente, siguiendo las recomendaciones recogidas por la declaración PRISMA(33) y la metodología de análisis de contenido (34).

## 2. Búsqueda

### 2.1 Identificación de la evidencia

Para la revisión de la evidencia científica se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos referenciales Medline (Ovid), Embase (Elsevier), la biblioteca *Cochrane* (Wiley), *The Web of Science* (FECYT) *Core Collection*, International HTA database (InaHTA), *PsycInfo* (EBSCO), *Trip PRO Database*, y *The Health Evidence Database*.

Por otro lado, se consultaron recursos especializados en COVID19 como *TheWHO COVID19 Research Database*, *The COVID19 Evidence Network to support Decision-making* (COVID-END) y *The Wales COVID19 Evidence Centre*. Así como las principales webs de agencias europeas: *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE), *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health* (CADTH), *Agency for Healthcare Research and Quality* (AHRQ), *Health Information System* (HIS), *Health Information and Quality Authority* (HIQA) y la Red española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del SNS (RedETS).

Para la identificación de los estudios se empleó lenguaje controlado (descriptor) y terminología libre (*artificial intelligence, machine learning, algorithm, decision making, disease outbreak y pandemic*), adaptándose la estrategia inicial a la sintaxis de cada base de datos. Estas búsquedas se lanzaron entre el 1 y el 8 de febrero de 2024 y fueron limitadas por tipo de estudio, a revisiones sistemáticas y metaanálisis. Las estrategias utilizadas están disponibles en el Anexo 3.

## 2.2. Consulta de otros recursos

Además de la consulta en estas bases de datos, se realizó un contacto con expertos en el desarrollo de metodologías de modelización y simulación en situaciones de pandemias y epidemias en las fases iniciales del proyecto para asegurar su correcto abordaje por indicación de responsables del SERGAS que fueron los peticionarios de este informe. En concreto, se contactó con el grupo *eHealth* del Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur, desarrollador del simulador *Practicum DIRECT* para la toma de decisiones en pandemias, en un proyecto cofinanciado por fondos europeos FEDER.

Se mantuvo una reunión vía telemática en la fase inicial del proyecto (6 de febrero del 2024) de 1 hora de duración a la que asistieron miembros del equipo desarrollador del simulador (Dr. Ismael Said Criado y Dr. Modesto Martínez Pillado) y miembros de AETSA (LAC, MLR y JAB). Tras esta reunión el grupo desarrollador mandó a los autores del presente informe estudios y presentaciones complementarias presentadas previamente durante la reunión. Esta información se recoge en este informe en el apartado de Información recopilada de los expertos.

## 3. Criterios de selección de los artículos recuperados

Las referencias identificadas durante las búsquedas en las bases de datos electrónicas descritas se importaron en la sección de gestión de referencias de la aplicación informática Covidence® (<https://www.covidence.org/>) donde se identificaron y eliminaron las referencias duplicadas. Los criterios de selección para el filtrado de los estudios se establecieron con anterioridad a obtener los resultados de estas búsquedas. Estos criterios siguieron la estructura SPICE planteada para la pregunta de investigación (32).

### 3.1 Criterios de inclusión

- **Escenario:** pandemias, epidemias o brotes de enfermedades que puedan provocar un posible tensionamiento sanitario.
- **Perspectiva:** cualquier usuario, profesional o gestor del sistema sanitario o sociosanitario.
- **Intervención:** modelizaciones o simulaciones informáticas basados en cualquier tipo de algoritmo matemático (con uso o no de inteligencia artificial, *machine learning* o *deep learning*) para la toma de decisiones clínicas o de gestión sanitaria.

- **Evaluación:** variables recogidas en la metodología de modelización o simulación basadas en la perspectiva clínica y en la gestión sanitaria para la correcta toma de decisiones.
- **Diseño:** revisiones sistemáticas o metaanálisis de diversos sistemas de modelización o simulación.
- **Otros criterios:** estudios publicados en inglés o español.

## 3.2 Criterios de exclusión

- **Escenario:** se excluyeron de este informe otras catástrofes (naturales o humanas) no definidas como brotes de enfermedades, pandemias o epidemias, a pesar de que pudieran causar un posible tensionamiento sanitario.
- **Perspectiva:** se excluyeron perspectivas que no tengan como objeto la toma de decisiones sanitarias.
- **Intervención:** se excluyeron modelizaciones o simulaciones cuyo objetivo no fuera la toma de decisiones, como la finalidad educativa, concienciación o participación.
- **Evaluación:** se excluyeron aquellos estudios cuyos modelos no recogían ni variables clínicas ni de gestión sanitaria. Incluyéndose aquellos estudios en los que se detectaron al menos uno de estos tipos de variables, y extrayendo tanto este tipo de variables como otros tipos ligadas a la modelización o simulación de dicha pandemia.
- **Diseño:** se excluyeron estudios con cualquier otro tipo de diseño diferente de revisiones sistemáticas o metaanálisis de diversos simuladores o modelos de simulación. Entre ellos, revisiones narrativas, comentarios, editoriales y cartas, resúmenes a congreso, estudios primarios, protocolos de investigación, o cualquier estudio que no presentara detalles suficientemente claros sobre los métodos utilizados.
- **Otros criterios:** estudios publicados en idiomas diferentes al inglés o español.

## 4. Selección de los estudios y extracción de los datos

Dos revisores de forma independiente (LAC y JAL) filtraron en la aplicación informática Covidence® los estudios detectados en las bases de datos interrogadas. Las discrepancias entre ambos revisores se resolvieron por consenso, contando con la participación de un tercer revisor (MLR) en los casos en los que no se llegó a un acuerdo. En primer lugar, se realizó un filtrado por título y resumen, y en una segunda fase se filtró por texto completo, usando en ambas etapas los criterios preestablecidos de inclusión y exclusión. Durante todo el proceso se documentó el número de registros obtenidos en la búsqueda, el número de estudios incluidos y excluidos y las razones de la exclusión. Con esta información se diseñó un diagrama de flujo siguiendo las directrices recogidas en la declaración PRISMA (33).

Dos revisores (LAC y MLR) llevaron a cabo la extracción de los datos de cada estudio incluido, y a la vez un tercer revisor (JAL) validó de forma independiente los datos extraídos. La extracción de los datos se realizó siguiendo la metodología de **análisis de contenido**. Este tipo de análisis es un método de investigación para interpretar y cuantificar datos textuales, su singularidad radica principalmente en su capacidad para convertir datos textuales cualitativos en datos cuantitativos, que luego pueden examinarse sistemáticamente (35). Los pasos de un análisis de contenido son (34):

1. Definir la pregunta de investigación: la pregunta de investigación debe ser adecuada para un enfoque cuantitativo. En nuestro caso se estableció la pregunta en formato SPICE que figura en el apartado Objetivos.
2. Seleccionar la muestra: basándose en la pregunta de investigación, se decida qué textos analizar. La muestra analizada en este informe la conforman los estudios incluidos después de un proceso de búsqueda estructurada y revisión sistemática de la literatura.
3. Defina categorías y desarrolle un esquema de codificación: este paso implica identificar los aspectos del texto que le interesan y desarrollar un conjunto de categorías para clasificar estos aspectos. Los aspectos de interés se codificaron siguiendo la estructura SPICE de la pregunta de investigación.
4. Prueba piloto del esquema de codificación: antes de iniciar el análisis propiamente dicho, es aconsejable realizar una prueba piloto del esquema de codificación en un subconjunto más pequeño de la muestra. Se realizó un pilotaje con dos de los estudios incluidos y mediante consenso del grupo de investigación del presente informe sobre su idoneidad.

5. Codifique el contenido: el contenido seleccionado se codifica de acuerdo con el esquema de codificación. Esta codificación se realizó en tablas diseñadas específicamente y disponibles en un formulario Excel compartido en línea entre ambos revisores. Las tablas diseñadas para la extracción de los datos fueron tablas *ad hoc* y recogían las principales variables incluidas en cada estudio, así como una descripción de todos los estudios incluidos. Se extrajo la siguiente información de cada uno de los estudios incluidos:

- *Descripción de la RS*: primer autor y años de publicación de la RS, objetivo de la RS, criterios de inclusión y exclusión de estudios, bases de datos consultadas, fecha de búsqueda, número de estudios que incluye, número de modelizaciones o simulaciones que incluye, tipos de estudios incluidos (estudios primarios o revisiones), metodología de evaluación de calidad de estudios que incluye, programa de análisis cualitativo o metaanálisis, financiación de la revisión y posibles conflictos intereses.
- *Escenario objeto de simulación o modelización*: enfermedad o enfermedades, brote pandémico, fecha del brote, localización del brote pandémico (ciudad, país, continente, mundial...), población susceptible de padecer la enfermedad pandémica, mecanismo de transmisión (vectorial, aérea, respiratoria, contacto, alimentaria) y adaptabilidad a otras pandemias.
- *Perspectiva*: ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario (primaria, UCI, sociosanitario, total...), tipo de financiación del sistema sanitario contemplado (seguridad social, modelo de seguros, totalmente privado...) y adaptabilidad a otros sistemas sanitarios o niveles.
- *Intervención*: patologías contempladas por los simuladores (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...), metodología de modelización, metodología de simulación, incluye el uso de IA, ML o DL (en caso de que la respuesta sea afirmativa características de su uso), coste computacional y mecanismo de validación.
- *Tipos de variables e indicadores para la modelización o simulación*: indicadores clínicos (nombre de los indicadores, variables que conforman el indicador, tipo de simulación y número de estudios que contienen cada una de las variables), indicadores de gestión sanitaria (nombre de los indicadores, variables que conforman el indicador, tipo de simulación y número de estudios que contienen cada una de las variables), otro tipo de indicadores (climáticos, indicadores sociales, indicadores dependientes del vector de transmisión).

6. Analizar e interpretar los datos: a continuación, se analizan los datos codificados, a menudo utilizando métodos estadísticos. Se pueden calcular las frecuencias de cada categoría, comparar frecuencias entre distintas partes del texto o distintos textos, o examinar las relaciones entre categorías. El análisis debe relacionarse con la pregunta de investigación y el contexto más amplio de la investigación.
7. Presentar las conclusiones: por último, se presentan las conclusiones de forma clara y comprensible, a menudo utilizando tablas o gráficos para mostrar las frecuencias de las categorías.

## 5. Evaluación de la calidad metodológica

Dos revisores independientes (LAC y JAL) valoraron la calidad metodológica de las RS incluidas utilizando la herramienta AMSTAR2 (36). Esta herramienta consta de 16 preguntas para la evaluación de la calidad de las RS y con preguntas específicas para aquellas RS que contengan un MA. Todas las preguntas deben ser respondidas con sí, sí parcial o no. Estas preguntas son (36):

1. ¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes SPICE?
2. ¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?
3. ¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?
4. ¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?
5. ¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?
6. ¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?
7. ¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?
8. ¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con el detalle adecuado?
9. ¿Los autores de la revisión utilizaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales que se incluyeron en la revisión?



10. ¿Los autores de la revisión informaron sobre las fuentes de financiación para los estudios primarios incluidos en la revisión?
11. Si se realizó un metanálisis, ¿usaron los autores de la revisión los métodos apropiados para la combinación estadística de los resultados?
12. Si se realizó el metanálisis, ¿los autores evaluaron el impacto potencial de riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados del metanálisis u otra síntesis de evidencia?
13. ¿Los autores de la revisión dieron cuenta de riesgo de sesgo en los estudios primarios al interpretar / discutir los resultados de la revisión?
14. ¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y una discusión sobre cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?
15. Si realizó una síntesis cuantitativa, ¿ejecutaron los autores de la revisión una investigación adecuada del sesgo de publicación y discutieron su posible impacto en los resultados de la revisión?
16. ¿Los autores de la revisión informaron sobre posibles fuentes de conflicto de intereses, incluido el financiamiento que recibieron para realizar la revisión?

Según la respuesta a estas preguntas, la herramienta AMSTAR2 otorga una calidad a la RS analizada, de mejor a peor calidad: alta calidad, calidad moderada, baja calidad o calidad críticamente baja.

## 6. Síntesis de los resultados

La síntesis de los resultados previamente extraídos de las RS incluidas se adjuntan en tablas, que responden al paso 5 de la metodología de análisis del contenido: la codificación.

En primer lugar, tablas que recojan los datos sobre el escenario, la perspectiva y la intervención de los modelos o simuladores incluidos en cada una de las RS. El escenario hace referencia a la pandemia, epidemia o brote objeto de simulación o modelización, y se incluirán características que sean relevantes para su simulación según el estudio incluido. La perspectiva se refiere al ámbito de aplicación del modelo o de la simulación y de sus usuarios. La intervención hace referencia a las patologías contempladas por los modelos o simuladores, la metodología de modelización, la metodología de simulación, el posible uso de IA, ML o DL, el coste computacional y el mecanismo de validación.

En segundo lugar, tablas que recojan las variables y los indicadores que contemplan los modelos o simuladores incluidos en cada una de las RS. Incluyendo indicadores clínicos (nombre de los indicadores, variables que conforman el indicador, tipo de simulación y número de estudios que contienen cada una de las variables), indicadores de gestión sanitaria (nombre de los indicadores, variables que conforman el indicador, tipo de simulación y número de estudios que contienen cada una de las variables), otro tipo de indicadores (climáticos, indicadores sociales, indicadores dependientes del vector de transmisión).

Tras la codificación de los datos, se realizó el análisis y la interpretación de los datos, sexto paso del análisis de contenido. Este análisis nos permite obtener las conclusiones plasmadas en este informe (séptimo y último paso del análisis de contenido).

# Resultado

## Resultado de la búsqueda

Como resultado de las búsquedas en las bases de datos referenciales y en otros recursos electrónicos, previamente enumerados, y limitadas a RS y MA, se identificaron un total de 1.543 estudios, de los cuales 1116 no estaban duplicados. Se realizó una primera selección por pares independientes en base a título y resumen, descartándose inicialmente 1034 estudios por no cumplir con los criterios de inclusión o por cumplir algunos de los criterios de exclusión. Las discrepancias se solucionaron por consenso. De los 82 documentos que fueron leídos a texto completo, finalmente se seleccionaron por pares 20 para su análisis.

El diagrama de flujo del filtrado, selección de estudios y motivos de exclusión (siguiendo los criterios preestablecidos) se muestra en el Figura 14 del Anexo 4. En la Tabla 7 del Anexo 5 se recogen las referencias de los estudios excluidos a texto completo clasificados según su motivo de exclusión.

Adicionalmente el contacto con expertos, en concreto con el grupo responsable del desarrollado del simulador DIRECT, permitió la recopilación de evidencia publicada respecto a este simulador. Los resultados de interés de la evidencia recopilada por esta vía se extrajeron en un apartado independiente para evitar posibles sesgos.

## Descripción de los estudios incluidos

Los 20 trabajos incluidos son revisiones sistemáticas, incluyendo solamente una de ellas metaanálisis (25). Todos los estudios que incluyen estas RS son estudios primarios que tienen como objetivo el desarrollo de modelos matemáticos o simuladores para diversas pandemias. Algunas de las RS incluyen tanto estudios publicados como *pre-prints*, mientras que otras excluyen los estudios *pre-prints* de manera explícita, al no asegurarse que sus datos hayan pasado un proceso de revisión por pares.

Igualmente cabe destacar que existe un amplio rango de número de estudios incluidos en cada una de las RS, desde 6 estudios primarios a 731. Esta heterogeneidad puede deberse a los diversos tipos de pandemias objeto de modelización o simulación, disparidades en los criterios de inclusión y exclusión utilizados o las bases de datos interrogadas.

Solamente 3 de las 20 RS incluidas (37-39) incluyen información sobre la metodología de evaluación de los estudios incluidos. Es destacable que existiendo una herramienta estandarizada para la evaluación de la calidad

de simuladores o metodologías de modelización, PROBAST (40), solamente un estudio (37) la utiliza para evaluar los estudios que incluye.

Los objetivos de 11 de las RS incluidas se centran en las aplicaciones, retos y diseños de modelos matemáticos de modelización, mientras que 9 de ellas se centran en modelos de simulación. Esta diferenciación abordada desde la introducción del presente informe es tomada en cuenta en la extracción de los resultados y en su posterior interpretación y discusión.

En la Tabla 1 se detallan las características de las RS incluidas.

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Número de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Smith et al., 2023 (41)</b>	Revisar sistemáticamente modelos matemáticos diseñados para investigar las dinámicas de transmisión del SARSCoV-2 y estrategias de control en entornos sanitarios en la fase crítica de la pandemia	PubMed  14 febrero 2022	<p><b>Criterios de inclusión:</b> Estudios centrados en la propagación del SARS-CoV-2 en entornos sanitarios (hospitales, unidades-plantas de hospitalización, residencias, centros de atención a largo plazo, centros de atención primaria o centros diagnósticos) y que incluyeran modelos matemáticos de transmisión interindividual (compartimentales, basados en el individuo, modelos de redes)</p> <p><b>Criterios de exclusión:</b> Modelos que no implicasen la transmisión del SARS-CoV-2; centrados en modelos aéreos o en mecánica de fluidos; estudios que no presentaran resultados originales</p>	<p>59 estudios primarios incluidos (incluye preprints)</p> <p>59 simuladores (aplicando 4 modelos matemáticos diferentes)</p>	No evaluada la calidad de los estudios incluidos	ND	<p>Financiado por: <i>Fondation de France (Grant 106059) y por el Gobierno de Francia</i></p> <p><i>También aportaron recursos French National Institute for Health and Medical Research (Inserm), Institut Pasteur, le Conservatoire National des Arts et Metiers, and l'Université Versailles Saint Quentin en Yvelines/ Université Paris-Saclay</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Singh <i>et al.</i>, 2023 (25)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar los modelos de simulación para el manejo de brotes epidémicos desde la perspectiva de varias disciplinas</li> <li>2. Reflejar la importancia de los modelos de simulación para manejar los problemas surgidos a partir de crisis pandémica y debatir sobre los métodos para organizar estas situaciones</li> <li>3. Presentar una clasificación esquemática y un metanálisis para identificar el poder potencial de los simuladores y las potenciales áreas de investigación para el trabajo futuro</li> </ol>	<p>Google database</p> <p>3 al 24 junio 2020</p>	ND	<p>79 estudios primarios incluidos</p> <p>79 simuladores (aplicando 5 modelos de matemáticos diferentes)</p>	No evaluada la calidad de los estudios incluidos	ND	<p>No explicita la fuente de financiación</p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Zhang et al., 2022 (42)</b>	<p>1. Resumir cómo se utilizaron tres modelos de simulación y sus híbridos para capturar y abordar problemas con diferentes características que surgieron durante el brote de COVID19</p> <p>2. Comprender mejor cómo los diferentes enfoques de simulación pueden ayudar a realizar un análisis situacional holístico, hacer predicciones precisas de brotes, optimizar la planificación de recursos médicos, evaluar intervenciones alternativas y desarrollar políticas de contención de alto impacto</p> <p>3. Demostrar cómo se utilizaron nuevas tendencias de aplicación, innovaciones teóricas o integraciones metodológicas en esos enfoques de simulación</p>	<p>Pubmed, MEDLINE, EMBASE, Web of Science, Scopus, Science-direct, EBSCO, Wiley, WHO COVID19 database</p> <p>31 diciembre 2021</p>	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Utilizar cualquiera de los tres modelos de simulación (SDM, ABM y DES), sus modelos híbridos (como ABM + SDM y DES + SDM) o un modelo de simulación compartimental (SIR, SEIR, SIR modificado o SEIR modificado, todos aracterizados por entrar en la categoría SDM) en la investigación de COVID19</p> <p>(2) Incluir denominaciones como COVID19, síndrome respiratorio agudo grave coronavirus 2 y SARSCoV-2</p> <p>(3) Se consideró que los temas aceptables de COVID19 incluían no solo la dinámica de transmisión, la predicción, las estrategias de prevención y control, sino también la estimación de costos económicos, la gestión de recursos y otras cuestiones relacionadas</p> <p>(4) Estudio original y no una forma de revisión</p> <p>(5) Escrito en inglés</p> <p>(6) Publicado en una revista y en actas de congresos, o en una publicación anticipada en línea, o apareció en canales de preimpresión</p>	<p>372 estudios primarios incluidos</p> <p>372 simuladores (aplicando 4 modelos de matemáticos diferentes)</p>	ND	ND	<p>Financiado por: <i>Ministerio de Educación de China (Project of Humanities and Social Sciences 21YJAZH053)</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Wynants et al., 2022 (37)</b>	Elaborar una revisión sistemática y evaluación crítica de modelos pronósticos para detectar la población general en riesgo de infección COVID19, hospitalización o muerte por la enfermedad, o bien para emitir el pronóstico en pacientes con COVID19 diagnosticado	Publicaciones <i>peer-review</i> : EMBASE y Pubmed mediante Ovid  17 febrero 2021  <i>Preprints</i> : bioRxiv, medRxiv, arXiv  5 mayo 2020	<b>Criterios de inclusión:</b> (1) Desarrollo o validación de un modelo multivariable o sistema de puntuación basado en datos a nivel individual, de cara a predecir cualquier resultado relacionado con el COVID19 (2) Escrito en inglés  <b>Criterios de exclusión:</b> (1) Estudios epidemiológicos que pretendan modelar las tasas de transmisión o mortalidad	412 estudios primarios incluidos (310 estudios incluidos en el análisis y 102 estudios incluidos en el material suplementario y la web del proyecto)  731 simuladores (606 incluidos en el análisis y 125 en el material suplementario y en la web)	PROBAST	Extracción de datos basada en CHARMS  Metodología de RS según PRISMA y TRIPOD	Financiado por: <i>Internal Funds KU Leuven, KOOR, and the COVID19 Fund. ZonMw (grant 10430012010001). FWO (grant G0B4716N). Internal Funds KU Leuven (grant C24/15/037). Netherlands Organisation for Health Research and Development (grant 91617050). European Union Horizon 2020 Research and Innovation Programme under ReCoDID grant agreement 825746. Cochrane Collaboration (SMF 2018). National Institute for Health Research (NIHR) School for Primary Care Research. NHS, the NIHR, or the Department of Health and Social Care. NIHR Biomedical Research Centre, Oxford, and Cancer Research UK (programme grant C49297/A27294). Cancer Research UK (programme grant C49297/A27294). National Heart, Lung, and Blood Institute of the United States National Institutes of Health (grant R00 HL141678) ▶</i>



**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
Wynants <i>et al.</i> , 2022 (37)							<p>Euregio Meuse-Rhine (grant Covid Data Platform (coDaP) interreg EMR-187). Fonds de recherche du Québec-Santé postdoctoral training fellowship. National Institute for Health and Care Research (NIHR) Community Healthcare MedTech and In Vitro Diagnostics Co-operative at Oxford Health NHS Foundation Trust</p> <p>Conflictos de intererres: un autor refiere apoyo de Research Foundation-Flanders. Otro autor refiere honorarios como editor estadista del BMJ desde 2009, honorarios recibidos de Roche por una consulta en 2018 y de Barts and the London School of Medicine and Dentistry, and the Universities of Aberdeen, Exeter, and Leeds</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Saleem et al., 2022 (38)</b>	Revisar el desarrollo actual y los futuros retos de las aproximaciones al COVID19 con el uso de <i>machine learning</i> y <i>deep learning</i>	<i>Web of Science, Google scholar, Scopus, Medline</i>  Abril 2022	<b>Criterios de inclusión:</b> (1) Publicado en inglés. (2) El artículo debe aplicar o medir algún indicador epidemiológico (3) Bebe incorporar ML o DL para identificar, analizar casos previos y predecir futuras tasas de infección y recuperación  <b>Criterios de exclusión:</b> (1) Duplicados (2) Que no hayan pasado el screening de título y <i>abstract</i> (3) Artículos no revisados por pares (4) Artículos de opinión o de marco conceptual	57 estudios primarios  57 simuladores: 21 modelos con uso de DL, 16 modelos con uso de ML, 21 otros modelos matemáticos	8 preguntas por pares para la evaluación: (1) Relevancia del objetivo (2) Utilidad (3) Procedimiento experimental (4) Modelo de validación y eficiencia (5) Importancia de la base de datos, (6) Limitaciones de la investigación (7) Discusión de aspectos futuros, (8) Representación de modelos de evaluación métricos	ND	Financiado por: <i>Deanship of Scientific Research (DSR) at King Abdulaziz University, Jeddah, under grant no. GCV19-7-1441</i>  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Kimani et al., 2022 (43)</b>	<p>Revisión sistemática de modelos epidemiológicos de enfermedades infecciosas específicamente para SARS-CoV-2 en África para determinar</p> <p>a) Los patrones espaciales y temporales del modelado del SARS-CoV-2 para África durante la pandemia</p> <p>b) El uso de datos locales para calibrar los modelos y experiencia local en la modelización</p> <p>c) Las preguntas clave de modelización y las estrategias políticas para los modelos de SARS-CoV-2 en África</p>	<p>Peer-reviewed: PubMed, EMBASE, WOS</p> <p>Pre-prints: MedRxiv</p> <p>Abril 2021</p>	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Artículos de modelos epidemiológicos dinámicos centrados en la pandemia de COVID19 en el continente africano</p> <p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <p>(1) Artículos que utilizaron métodos de estadísticos, pero no incluyen modelos dinámicos</p> <p>(2) Modelos no centrado en COVID19</p> <p>(3) Estudios sin resumen</p> <p>(4) Estudios no escritos en inglés</p>	<p>74 estudios (50 peer-reviewed, 24 pre-prints)</p> <p>74 simuladores, basados en 2 modelos matemáticos de simulación</p>	ND	ND	<p>Financiado por: <i>This work was supported by the Fogarty International Center and the Institute of Allergy and Infectious Diseases of the National Institutes of Health under Award Number D43TW011519</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Aguiar et al., 2022 (44)</b>	Identificar un consenso sobre los aspectos del modelado de enfermedades infecciosas que pueden contribuir a las autoridades de salud pública para el control de enfermedades y revisar la comprensión actual de los factores epidemiológicos e inmunológicos que influyen en la dinámica de transmisión del dengue	<i>PubMed, WOS, Mendeley y ScienceOpen</i>  Mayo - Noviembre 2021	<b>Criterios de inclusión:</b> (1) Artículos publicados en texto completo, revisados por pares, que describen marcos de modelado de huésped a huésped, vector-hospedador y dentro del huésped aplicados a la dinámica epidemiológica de la fiebre del dengue, publicados desde 2010 hasta junio de 2021 (2) Enfoques de modelado determinista, estocástico y espacial (3) Estudios que utilizan (o no utilizan) datos empíricos para la parametrización y validación del modelo (4) Modelos de múltiples cepas que abordan medidas de intervención para el control del dengue, es decir, control de vectores, vacunación o ambos combinados	56 estudios primarios  56 simuladores, basados en 3 modelos de simulación (determinista, estocástica y espacial)	ND	ND	Financiado por: <i>This research is supported by the Basque Government through the "Mathematical Modeling Applied to Health" Project, BERC 2018-2021 program and by Spanish Ministry of Sciences, Innovation and Universities: BCAM Severo Ochoa accreditation SEV-2017-0718. M.A. has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No792494</i>  Sin conflictos de intereses

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Aguiar et al., 2022 (44)</b>			<p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <p>(1) Para los enfoques estructurales vector-huésped o huésped a huésped, se excluyeron los modelos de serotipo único ya que no eran epidemiológicamente relevantes para explicar la inmunopatogénesis de la enfermedad grave. Para ello, era necesario considerar en el marco de modelización al menos dos infecciones causadas por diferentes serotipos de dengue</p> <p>(2) También se excluyeron los artículos de investigación únicamente sobre virología, inmunología o entomología que no contengan un marco de modelado de múltiples cepas para describir la dinámica de transmisión del dengue o las estrategias de control del dengue a nivel poblacional o las respuestas inmunológicas del dengue dentro del huésped</p>				

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Klein et al., 2022 (45)</b>	Revisión sistemática de los modelos de planificación que se pueden utilizar para estimar las necesidades de capacidad hospitalaria debido a oleadas de pacientes con COVID19 con un horizonte de planificación aproximado de 1 mes o más. Estos modelos se pueden utilizar para considerar diferentes escenarios con diferentes parámetros	<i>PubMed, EMBASE, ISI, WoS y Google Scholar</i>  9 julio 2020	<b>Criterios de inclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El artículo describe un modelo o herramienta de computadora</li> <li>(2) Modelo o herramienta para COVID19</li> <li>(3) El objetivo del artículo debe incluir la gestión del aumento de capacidad de aumento del hospital</li> <li>(4) Los parámetros deben ser adaptables a población atendida por un solo hospital</li> <li>(5) El modelo debe incluir al menos un parámetro relacionado con la duración de las hospitalizaciones relacionadas con COVID19</li> <li>(6) El modelo debe incluir al menos un parámetro relacionado con la disponibilidad de ventiladores</li> </ol> <b>Criterios de exclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Búsqueda limitada a artículos en idioma inglés</li> <li>(2) Excluidos los modelos que se centraban en pronosticar casos o la curva epidémica sin parámetros hospitalarios</li> <li>(3) Excluidos modelos que se centraban principalmente en el impacto de intervenciones no farmacéuticas sobre posibles curvas pandémicas</li> <li>(4) Excluidos modelos centrados en los recursos del hospital sin considerar el número de casos de COVID19 o las duraciones de las hospitalizaciones</li> </ol>	6 estudios primarios  6 simuladores	ND	ND	Fuentes de financiación no detalladas  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Shakeel et al., 2021 (46)</b>	<p>(1) Revisar sistemáticamente los modelos de predicción que se han desarrollado para COVID19</p> <p>(2) Analizar los diversos modelos de predicción de COVID19 que están disponibles actualmente</p> <p>(3) Sintetizar y extraer resultados y conclusiones útiles sobre los modelos de predicción de COVID19</p>	<p><i>Google Scholar, Scopus, Publish or Perish</i> y WOS</p> <p>Enero 2021</p>	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Artículos publicados</p> <p>(2) Modelos de predicción de COVID19</p> <p>(3) Idioma: inglés</p> <p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <p>(1) Artículos bajo revisión o no publicados</p> <p>(2) Modelos no predictivos de COVID19</p> <p>(3) Idioma: diferente del inglés</p>	<p>30 estudios primarios</p> <p>30 simuladores</p>	ND	ND	<p>Sin financiación externa</p> <p>Sin conflictos de interés</p>
<b>Lorig et al., 2021 (47)</b>	<p>Realizar una revisión sistemática para identificar modelos <i>agent-based</i> de transmisión de COVID19, que pueden utilizarse para investigar la introducción, gestión o eliminación de diferentes intervenciones. Proporcionar un análisis de estos modelos incluyendo una comparación de las intervenciones que pueden investigarse, inputs de los modelos de transmisión, características de los individuos y estados patológicos</p>	<p>COVIDScholar.org, PubMed, arXiv y medRxiv</p> <p>1 octubre 2020</p>	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Publicados en inglés</p> <p>(2) Publicados en una revista o actas, o disponible como preimpresión en un archivo reconocido</p> <p>(3) Utiliza un modelo ABSS que permite investigar la propagación de COVID19</p> <p>(4) El artículo describe el modelo de simulación y el proceso de transmisión</p> <p>(5) Para cada modelo se incluye solamente la última versión de la preimpresión o, si existe, la versión revisada por pares</p> <p>(6) Subidos o publicados antes del 1 de octubre de 2020</p>	<p>126 estudios primarios</p> <p>126 simuladores (todos usan el modelo matemático <i>Agent based</i>)</p>	<p>No evaluados</p> <p>Validación interna: real-world data, comparación con otros modelos, pruebas sistemáticas, evaluación de conclusiones y validación de solidez por expertos</p>	ND	<p>Financiado por: <i>This work was supported by Malmö University via the project "Towards More Reliable Predictions: Multi-model Ensembles for Simulating the Corona Pandemic" (Fo 2020/299)</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Payedimarri et al., 2021 (48)</b>	Realizar una revisión sistemática para evaluar la eficacia de la IA y el ML para guiar la implementación de intervenciones de salud pública destinadas a contener la pandemia de SARS-CoV-2	<i>Nursing reference Center Plus, CHINAHL, Scopus, PubMed y Living Evidence</i>  1 febrero 2020	<b>Criterios de inclusión:</b> Estudios que utilizaron IA y/o ML para desarrollar o validar una intervención de salud pública y sus posibles resultados	8 estudios primarios  8 simuladores	ND	ND	Sin financiación externa  Sin conflictos de interés
<b>Ozsezer et al., 2021 (49)</b>	Investigar y revisar sistemáticamente los estudios publicados sobre el uso de la inteligencia artificial en la pandemia de COVID19	<i>WOS, Google Scholar, PubMed y Scopus</i>  25 abril 2020 – 6 mayo 2020	<b>Criterios de inclusión:</b> (1) Estudios cuyo objetivo sea examinar el uso de IA durante el proceso COVID19 centrados en la detección temprana de infecciones relacionadas con la COVID19, el uso de la IA en temas como el seguimiento del tratamiento, el desarrollo de medicamentos y vacunas, la reducción de la carga de trabajo de los trabajadores de la salud o la prevención (2) El idioma de publicación será el inglés (3) El texto completo estará disponible en línea  <b>Criterios de exclusión:</b> (1) Publicados en otro idioma distinto al inglés (2) Resúmenes	26 estudios primarios  26 simuladores (usan 18 modelos de simulación diferentes, incluyendo metodologías de simulación híbridas)	ND	ND	ND



**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Hoyos et al., 2021 (50)</b>	Recopilar y describir modelos de aprendizaje automático para el dengue y visualizar los desafíos para el trabajo futuro en la modelización del dengue	<i>ScienceDirect, IEEE Xplorer, Google Scholar, Emerald, Taylor &amp; Francis y PubMed</i>  Marzo 2021	<b>Criterios de inclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Artículos de enero de 2015 a marzo de 2021, en idioma inglés, relacionados con el desarrollo e implementación de modelos diagnósticos, epidémicos y de intervención del dengue</li> <li>(2) Artículos que coincidan con los términos de búsqueda que describen las preguntas de investigación</li> </ol> <b>Criterios de exclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Artículos que representan opiniones personales de expertos individuales</li> <li>(2) Comunicaciones a congresos, carteles, resúmenes, artículos cortos y trabajos inéditos</li> <li>(3) Artículos que utilizan modelos de ecuaciones diferenciales ordinarias y otros enfoques deterministas</li> </ol>	64 estudios primarios  64 simuladores que usan ML (27 con finalidad de diagnóstico, 29 epidémicos y 8 evaluación de las intervenciones)	ND	ND	Financiado por: <i>This study was partially funded by Colombian Administrative Department of Science, Technology and Innovation - COLCIENCIAS (grant number 111572553478) (M. Toro) and Colombian Ministry of Science and Technology Bicentennial PhD Grant (W. Hoyos). Los autores declaran no tener conflictos de intereses</i>  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Dogan et al., 2021 (51)</b>	Realizar una revisión sistemática de la literatura para describir, analizar y sintetizar los estudios relacionados con las implementaciones de AI/ML en el brote de COVID19	ACM Digital Library, ArXiv.org, Elsevier, IEEE Xplore Digital Library, PubMed, Springer y Wiley Online Library  Fecha de búsqueda no especificada	<b>Criterios de inclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Estudios que aplican al menos un algoritmo AI/ML</li> <li>(2) Estudios que aporten al menos una solución a alguno de los problemas COVID19</li> <li>(3) Estudios que contengan trabajos experimentales utilizando conjuntos de datos de COVID19</li> <li>(4) Estudios que abordan explícitamente el tema COVID19</li> <li>(5) Estudios escritos únicamente en inglés</li> </ol> <b>Criterios de exclusión:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Estudios publicados antes de 2019</li> <li>(2) Resúmenes extendidos y trabajos de carteles</li> <li>(3) Estudios que mencionan técnicas de IA/ML pero que no forman parte del brote de COVID19</li> <li>(4) Estudios que mencionan técnicas de COVID19 pero no utilizan técnicas de IA/ML</li> <li>(5) Estudios teóricos sin aplicación</li> </ol>	264 estudios primarios  264 simuladores que usan 14 modelos matemáticos de simulación diferentes	ND	ND	Fuentes de financiación no descritas  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Eunice et al., 2021 (39)</b>	Determinar y discutir hasta qué punto los estudios predicen con precisión los casos y muertes por COVID19 y si existen algunas diferencias entre las técnicas de modelado	<i>PubMed, medRxiv y Google Scholar</i>  30 noviembre 2020	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Estudios relacionados con la dinámica de COVID19 y están basados en modelos</p> <p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <p>(1) Estudios sobre la dinámica de la COVID19 que no se basan en modelos</p> <p>(2) Idiomas distintos del inglés</p> <p>(3) Artículos que tratan sobre modelos para evaluar los factores de riesgo de morir por COVID19 basados en factores socioeconómicos, modelos para un diagnóstico eficaz de los pacientes, modelos sobre el comportamiento humano individual con respecto a las medidas de control</p>	<p>242 estudios primarios</p> <p>242 simuladores que usan 8 modelos matemáticos diferentes</p>	<p>Evaluación de la precisión y exactitud de los modelos utilizando 3 parámetros:</p> <p>(1) Relación entre el valor predicho y el valor realmente observado el día en que se hizo la predicción</p> <p>(2) Medida de precisión a partir de la relación entre la amplitud del parámetro de incertidumbre (IC 95 % o CrI 95 %) y el valor central</p> <p>(3) Si el valor realmente observado en un estudio estaba dentro o fuera del IC del 95 % o CrI de las predicciones; este se utilizó para calcular la proporción de predicciones para las cuales el número de casos acumulados o muertes realmente observadas están dentro del IC del 95 % o CrI de las predicciones</p>	ND	<p>Financiado por: <i>KVS acknowledges the support of the Wallonie-Bruxelles International Post-doctoral Fellowship for Excellence, Belgium (Fellowship NSUB/2019/443681). RGK acknowledges the support from the African German Network of Excellence in Science (AGNES) and the Alexander von Humboldt Foundation (AvH). Authors acknowledge the assistance of Sacla Aide Edmond in mobilising additional articles when revising previous version of this article</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Carias et al., 2019 (52)</b>	Analizar la contribución de estudios que utilizaron modelos matemáticos o estadísticos y datos empíricos para hacer predicciones cuantitativas sobre el brote de ébola en África occidental	<p><i>PubMed y revistas especializadas (Lancet Infectious Diseases, Eurosurveillance, PLoS Currents Outbreaks, Science, Nature y Proceedings of the national Academy of Science)</i></p> <p>6 abril 2015 (búsqueda acotada desde 31 diciembre 2013 a 6 abril 2015)</p>	ND	<p>26 estudios primarios (12 presentaron estimaciones de recuentos de casos en presencia y ausencia de intervenciones específicas, 9 presentaron únicamente recuentos de casos previstos y 5 presentaron análisis de la probabilidad de propagación geográfica)</p> <p>26 simuladores que usan 5 tipos de modelos matemáticos diferentes</p>	ND	ND	<p>Financiado por: <i>This work was supported by IHRC, which provided funding in the form of salaries for C.C., J.J.O., and M.G.; and by a grant from the Centers for Disease Control and Prevention</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Smith et al., 2018 (53)</b>	Realizar una revisión de cualquier modelo basado en agente que modele explícitamente acciones y respuestas individuales, y asocie con cada individuo sus respectivas variables y parámetros de estado	<i>OVID Medline, CINAHL Plus y OVID Embase</i>  25 mayo 2018	<b>Criterios de exclusión:</b> (1) Si no se describía o utilizaba ningún modelo de huéspedes o vectores basado en agentes (2) Si no se modelaban explícitamente componentes de la transmisión de la malaria (como enfermedades humanas, picaduras de vectores o intervenciones) (3) Modelos de ciclos de vida o ecología de vectores sin elementos específicos de la malaria (4) Los artículos que describían comparaciones o modelos conjuntos de modelos preexistentes se consideraron por separado	90 estudios primarios  90 modelos matemáticos basados en agente	ND  52 de los estudios incluidos presentan una calibración previa y 31 de los estudios incluidos describen técnicas de validación interna	ND	Financiado por: <i>N.R.S. is a recipient of an Australian Government Research Training Program (RTP) Scholarship. Funding was provided by the National Health and Medical Research Council (NHMRC) of Australia including an Early Career Research Fellowship (APP1037722) and Project Grant (APP1125788) to J.S.R. Burnet Institute received funding from the NHMRC Independent Research Institutes Infrastructure Support Scheme, and the Victorian State Government Operational Infrastructure Support Scheme. J.M.T. is a recipient of an Early Career Fellowship (APP1142638) from the NHMRC. Mahidol- Oxford Tropical Medicine Research Unit is funded by the Wellcome Trust of Great Britain. Funding bodies had no role in the design of the study, collection, analysis, and interpretation of data or in writing the manuscript</i>  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Wong et al., 2017 (54)</b>	Evaluar sistemáticamente diferentes métodos de modelado utilizados para estudiar el brote actual de Ébola en África occidental y sus resultados en parámetros clave de la enfermedad. Centrados en el uso de modelos con diferentes estructuras compartimentales. El objetivo es proporcionar direcciones para futuros esfuerzos de modelización en entornos donde los datos sobre brotes tempranos de enfermedades pueden ser limitados.	<i>PubMed, Embase y Scopus</i>  1 junio 2016 – 18 noviembre 2016	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Proyectar la trayectoria del brote de la enfermedad</li> <li>(2) Proporcionar una estimación temprana de los parámetros epidemiológicos del Ébola (incluido R0, intervalo serial, período de latencia, período infeccioso y tasa de letalidad) utilizando métodos de modelización, sólo se incluyeron aquellos estudios que utilizaron los datos actuales del brote de EVE</li> </ol> <p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Si los modelos presentados se centraban únicamente en evaluar estrategias de intervención sin ofrecer estimaciones de parámetros o su proyección</li> <li>(2) Los estudios relacionados con brotes de EVE anteriores a 2014</li> <li>(3) Los estudios narrativos, los estudios de políticas de respuesta, los estudios de modelos de procesos, los estudios de modelado filogenético y biológico o genético</li> </ol>	<p>41 estudios primarios</p> <p>41 simuladores que usan 10 modelos matemáticos</p>	ND	R versión 3.3.1 (no especifica ni el código ni el paquete utilizado)	<p>No explicita las fuentes de financiación</p> <p>Sin conflictos de interés</p>

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Prieto et al., 2012 (55)</b>	Exponer las diferencias entre las perspectivas de los profesionales de la salud pública y los desarrolladores de modelos y bases de datos sobre las capacidades requeridas del modelo. Derivar recomendaciones para mejorar la usabilidad práctica de los modelos de pandemia de gripe y las bases de datos asociadas	<i>PubMed (y estrategia de bola de nieve en otras bases de datos)</i>  Fecha de búsqueda no explicitada	<b>Criterios de inclusión:</b>  (1) Artículos que evalúen una o más estrategias en cada una de las categorías de mitigación: distanciamiento social, vacunación, y aplicación antiviral, excluyendo modelos que no consideran las tres categorías  (2) Artículos con modelos de simulación definidos en una única región  (3) Artículos que incluyen fuentes de datos para la mayoría de los modelos, valores de parámetros y, cuando sea posible, especificar los métodos para la estimación de parámetros	23 estudios (21 estudios primarios, 1 revisión y 1 encuesta)  21 simuladores	ND	ND	No explicita las fuentes de financiación  Sin conflictos de interés

**Tabla 1. Descripción de las revisiones sistemáticas incluidas (continuación)**

Estudios Año	Objetivo de la RS	Bases de datos y fecha de búsqueda	Criterios de selección	Nº de estudios y simuladores / modelos incluidos	Evaluación calidad estudios incluidos	Programa de análisis cualitativo o cuantitativo	Financiación / Conflictos de interés
<b>Andraud et al., 2012 (56)</b>	Revisar modelos deterministas de transmisión del dengue, con el fin de resumir la evolución de los conocimientos proporcionados por dichos modelos y de identificar características importantes para el desarrollo futuro de modelos	PubMed y ISI Web of Knowledge  Marzo 2012	<p><b>Criterios de inclusión:</b></p> <p>(1) Artículos de representación del proceso de infección del dengue a nivel del huésped (excluidos los estudios que se centran únicamente en aspectos entomológicos)</p> <p>(2) Artículos con enfoques deterministas que utilizan sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO)</p> <p>(3) Un criterio de selección implícito adicional para centrar la revisión en estructuras de modelos únicas es que excluimos los artículos que utilizan una estructura de modelo descrita previamente para estimar los números de reproducción y/o los parámetros epidemiológicos a partir de datos de campo</p> <p><b>Criterios de exclusión:</b></p> <p>(1) Se excluyeron tanto los modelos estocásticos como los espaciales, ya que los enfoques deterministas no espaciales proporcionan una buena aproximación de campo medio del comportamiento del sistema y preservan el patrón de series temporales de los huéspedes infectados, incluso ignorando las características estocásticas de la dinámica. Sin embargo, todos estos enfoques excluidos (estimaciones espaciales, estocásticas y de parámetros) se analizan brevemente en la sección final del artículo</p>	42 estudios primarios  42 simuladores	ND	ND	<p>Financiado por: <i>This study was financed by the University of Antwerp (UA)'s concerted research action project nr 23405 (BOF-GOA). NH also acknowledges support from the UA scientific chair in evidence based vaccinology. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript</i></p> <p>Sin conflictos de interés</p>

NA: no aplica; ND: no descrito

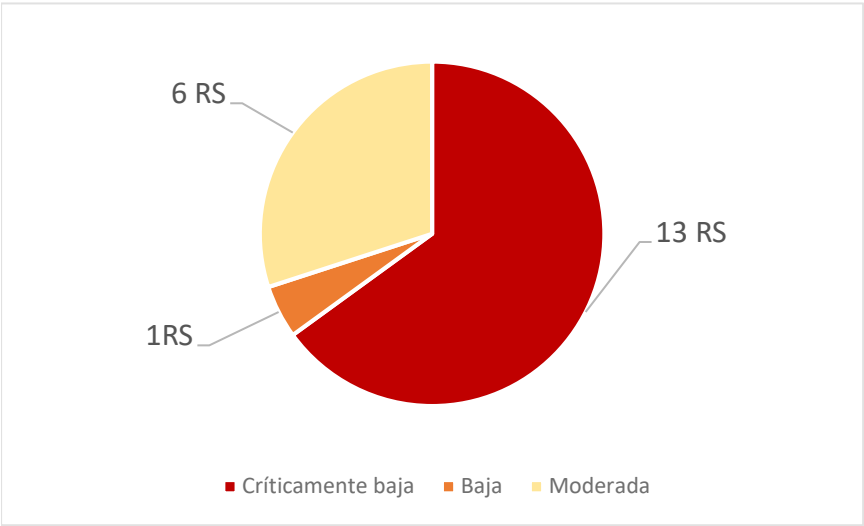


# Calidad de los estudios incluidos

Todos los estudios incluidos son RS por lo que su calidad se evaluó con la herramienta AMSTAR2 (31). Las calidades de los estudios incluidos oscilaron entre moderada y críticamente baja (13 estudios obtuvieron una evaluación de calidad críticamente baja, 1 estudio calidad baja y 6 estudios calidad moderada). Ninguna de las RS incluidas alcanzó la calidad máxima que recoge AMSTAR2, calidad alta. Las principales debilidades detectadas en esta evaluación en las RS incluidas estuvieron relacionadas con no proporcionar una lista de estudios excluidos y la justificación de las exclusiones o no reportar las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión, ninguna de las 20 RS evaluadas incluyó estos dos aspectos.

En la Figura 3 se plasman los porcentajes de estudios incluidos divididos según sus calidades obtenidas mediante la evaluación con la herramienta AMSTAR2. En el Anexo 6, se muestran las Tablas 8-11 que recogen los detalles de la evaluación de la calidad de las 20 RS incluidas (divididas en 5 RS en cada una de las tablas).

**Figura 1: Figura 3: Porcentaje de RS incluidas según su calidad evaluadas con AMSTAR2**



## Resultados del escenario analizado

La síntesis de los resultados se realizó siguiendo la estructura SPICE con la que se planteó la pregunta de investigación: escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación (32).

Siguiendo la estructura planteada, en primer lugar, se plasma una tabla que recoge los resultados sobre el escenario analizado en cada una de las RS incluidas. Como ya se definió anteriormente, el escenario hace referencia a la pandemia, epidemia o brote objeto de simulación o modelización. Los resultados sobre el escenario objeto de modelización o simulación recogidos incluyen:

- La enfermedad analizada. Se refiere a la enfermedad causante de la pandemia, endemia o brote. En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones que analicen diferentes enfermedades, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada una de las enfermedades.
- El brote pandémico analizado. Si la modelización o simulación se centra en el análisis de un brote o brotes específicos de la enfermedad analizada. Si no se centra en un brote específico no aplicará rellenar este apartado y aparecerán las siglas NA (no aplica). En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones que analicen diferentes brotes de una o más enfermedades, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada uno de los brotes.
- Fecha del brote analizado. Si la modelización o simulación se centra en el análisis de un brote o brotes específicos de la enfermedad analizada se incluye en este apartado la fecha del mismo. Si no se centra en un brote específico no aplicará rellenar este apartado y aparecerán las siglas NA (no aplica). En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones que analicen diferentes brotes de una o más enfermedades, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada uno de los brotes.
- Población susceptible de padecer la enfermedad. Si la RS detalla si la enfermedad o enfermedades objeto de análisis pueden ser padecidas por cualquier persona o hay poblaciones con mayor susceptibilidad de contagio, exposición o desarrollo de la sintomatología.
- Localización del brote. Ubicación del brote analizado o poblaciones con una mayor probabilidad de albergar estos brotes por diversas características.

- Mecanismo de transmisión. Hace referencia al mecanismo por el cual la enfermedad se transmite a un humano pudiendo este desarrollar la sintomatología asociada a esta patología o no. En particular, uno de los aspectos más diferenciales para la simulación o modelización es la necesidad o no de un vector para la transmisión, por lo que este aspecto se recoge en este apartado.
- Simulación o modelado adaptable a otras pandemias. Si los modelos o simulaciones recogidos en la RS incluida hacen referencia a su posible adaptabilidad a otros brotes o pandemias, y en el caso en que pudiera ser adaptable si estas tienen que tener unas características comunes mínimas.

En la Tabla 2 se recopilan los resultados del escenario analizado de las 20 RS incluidas siguiendo la estructura de apartados definidos anteriormente (enfermedad, brote pandémico, fecha del brote, población susceptible, localización del brote, mecanismo de transmisión y adaptabilidad de la simulación/modelado a otras pandemias).

**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado**

<b>Estudios Año</b>	<b>Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)</b>	<b>Brote pandémico analizado (% de estudios)</b>	<b>Fecha del brote (% de estudios)</b>	<b>Población susceptible de padecer la enfermedad</b>	<b>Localización del brote (% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de transmisión</b>	<b>Simulación / modelado adaptable a otras pandemias</b>
<b>Smith <i>et al.</i>, 2023 (41)</b>	COVID19 (59/59, 100 %)	Pandemia COVID (59/59, 100 %)	Marzo 2020 (59/59, 100 %)	Toda población no infectada (59/59, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Singh <i>et al.</i>, 2023 (25)</b>	COVID19 (33/79, 41,77 %) Gripe H1N1 (16/79, 20,25 %) Sarampión (2/79, 2,53 %), Dengue (2/79, 2,53 %), SARS (3/79, 3,80 %), Gripe Porcina (1/79, 1,27 %), VIH (1/79, 1,27 %), Hepatitis C (1/79, 1,27 %), Ébola (1/79, 1,27 %), brotes o epidemias en general (19/79, 24,05 %)	ND	NA	ND	ND	ND	ND
<b>Zhang <i>et al.</i>, 2022 (42)</b>	COVID19 (372/372, 100 %)	Pandemia COVID (372/372, 100 %)	Marzo 2020 (372/372, 100 %)	Toda población no infectada (372/372, 100 %)	Mundial (17 simuladores estudian la expansión y transmisión en lugares concretos, 4,57 %, y 19 a nivel nacional de distintos países, 5,11 %)	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND

**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)</b>	<b>Brote pandémico analizado (% de estudios)</b>	<b>Fecha del brote (% de estudios)</b>	<b>Población susceptible de padecer la enfermedad</b>	<b>Localización del brote (% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de transmisión</b>	<b>Simulación / modelado adaptable a otras pandemias</b>
<b>Wynants <i>et al.</i>, 2022 (37)</b>	COVID19 (412/412, 100 %)	Pandemia COVID (412/412, 100 %)	Marzo 2020 (412/412, 100 %)	Toda población no infectada (412/412, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Saleem <i>et al.</i>, 2022 (38)</b>	COVID19 (57/57, 100 %)	Pandemia COVID (57/57, 100 %)	Marzo 2020 (57/57, 100 %)	Toda población no infectada (57/57, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Kimani <i>et al.</i>, 2022 (43)</b>	COVID19 (74/74, 100 %)	Pandemia COVID (74/74, 100 %)	Marzo 2020 (74/74, 100 %)	Toda población no infectada, analizada la población de las 54 naciones de África que pertenece a las Naciones Unidas (74/74, 100 %)	Mundial, analizado en el contexto del continente africano	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Aguiar <i>et al.</i>, 2022 (44)</b>	Dengue (56/56, 100 %)	Diversos brotes de Dengue	ND	Principalmente poblaciones endémicas de regiones afectadas, como Filipinas o Brasil	ND	Vector (mosquito Aedes)	No
<b>Klein <i>et al.</i>, 2022 (45)</b>	COVID19 (6/6, 100 %)	Pandemia COVID (6/6, 100 %)	Marzo 2020 (6/6, 100 %)	Toda población no infectada (6/6, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Shakeel <i>et al.</i>, (46) 2021</b>	COVID19 (30/30, 100 %)	Pandemia COVID (30/30, 100 %)	Marzo 2020 (30/30, 100 %)	Toda población no infectada (30/30, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND

**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)</b>	<b>Brote pandémico analizado (% de estudios)</b>	<b>Fecha del brote (% de estudios)</b>	<b>Población susceptible de padecer la enfermedad</b>	<b>Localización del brote (% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de transmisión</b>	<b>Simulación / modelado adaptable a otras pandemias</b>
<b>Lorig <i>et al.</i>, 2021 (47)</b>	COVID19 (126/126, 100 %)	Pandemia COVID (126/126, 100 %)	Marzo 2020 (126/126, 100 %)	Toda población no infectada (126/126, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Payedimarri <i>et al.</i>, 2021 (48)</b>	COVID19 (8/8, 100 %)	Pandemia COVID (8/8, 100 %)	Marzo 2020 (8/8, 100 %)	Toda población no infectada (8/8, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Ozsezer <i>et al.</i>, 2021 (49)</b>	COVID19 (26/26, 100 %)	Pandemia COVID (26/26, 100 %)	Marzo 2020 (26/26, 100 %)	Toda población no infectada (26/26, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Hoyos <i>et al.</i>, 2021 (50)</b>	Dengue (64/64, 100 %)	Cualquier brote de Dengue	ND	Regiones tropicales o subtropicales con pandemias endémicas de Dengue	Estudios procedentes en su mayoría de Taiwan, Brasil y Vietnam	Vector (mosquito Aedes)	ND
<b>Dogan <i>et al.</i>, 2021 (51)</b>	COVID19 (264/264, 100 %)	Pandemia COVID (264/264, 100 %)	Marzo 2020 (264/264, 100 %)	Toda población no infectada (264/264, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND
<b>Eunice <i>et al.</i>, 2021 (39)</b>	COVID19 (242/242, 100 %)	Pandemia COVID (242/242, 100 %)	Marzo 2020 (242/242, 100 %)	Toda población no infectada (242/242, 100 %)	Mundial	Secreciones respiratorias (al respirar, toser, estornudar o por contacto)	ND

**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado (continuación)**

Estudios Año	Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)	Brote pandémico analizado (% de estudios)	Fecha del brote (% de estudios)	Población susceptible de padecer la enfermedad	Localización del brote (% de estudios)	Mecanismo de transmisión	Simulación / modelado adaptable a otras pandemias
<b>Carias <i>et al.</i>, 2019 (52)</b>	Ébola (26/26, 100 %)	<p>Brotes que afectaron a Sierra Leona, Guinea y Liberia (9/26, 34,62 %)</p> <p>Brotes que afectaron solamente a Liberia (5/26, 19,23 %)</p> <p>Brotes que afectaron solamente a Sierra Leona (3/26, 11,54 %)</p> <p>Brotes que afectaron a Sierra Leona y Siberia (4/26, 15,38 %)</p> <p>Implicaciones de los brotes a nivel mundial (3/26, 11,54 %)</p> <p>Brotes que afectaron solamente a Nigeria (1/26, 3,85 %)</p> <p>Brotes que afectaron solamente a Australia (1/26, 3,85 %)</p>	ND	Poblaciones de Guinea, Liberia, Sierra Leona, Nigeria, todas las poblaciones del oeste africano o Australia (26/26, 100 %)	Guinea, Liberia, Sierra Leona, Nigeria, todas las poblaciones del oeste africano o Australia	<p>La infección se adquiere por contacto con:</p> <p>(1) Animales infectados al prepararlos, cocinarlos o comerlos</p> <p>(2) Líquidos corporales de personas infectadas, como saliva, orina, heces o semen</p> <p>(3) Objetos que contengan líquidos corporales de personas infectadas, como ropa de vestir o de cama</p>	ND

**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)</b>	<b>Brote pandémico analizado (% de estudios)</b>	<b>Fecha del brote (% de estudios)</b>	<b>Población susceptible de padecer la enfermedad</b>	<b>Localización del brote (% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de transmisión</b>	<b>Simulación / modelado adaptable a otras pandemias</b>
<b>Smith <i>et al.</i>, 2018 (53)</b>	Malaria (90/90, 100 %)	Cualquiera	NA	Población de las zonas afectadas, especialmente personas no vacunadas (la vacuna es efectiva entre el 30 y el 60 % de los casos), los lactantes, los menores de 5 años, las mujeres embarazadas, los viajeros y las personas con VIH o sida (90/90, 100 %)	Áreas tropicales o subtropicales de Asia, África y América Central y del Sur	Mosquitos Anopheles infectados	ND
<b>Wong <i>et al.</i>, 2017 (54)</b>	Ébola (41/41, 100 %)	Brotes entre 2014 y 2015 (41/41, 100 %)	Brotes entre 2014 y 2015 (41/41, 100 %)	Población de las regiones afectadas (Guinea, Liberia, Sierra Leona y Nigeria) (41/41, 100 %)	Guinea, Liberia, Sierra Leona y Nigeria	La infección se adquiere por contacto con: (1) Animales infectados al prepararlos, cocinarlos o comerlos (2) Líquidos corporales de personas infectadas, como saliva, orina, heces o semen (3) Objetos que contengan líquidos corporales de personas infectadas, como ropa de vestir o de cama	Adaptables a futuros brotes de la misma enfermedad



**Tabla 2. Principales resultados del escenario analizado (continuación)**

Estudios Año	Enfermedad objeto de análisis (% de estudios)	Brote pandémico analizado (% de estudios)	Fecha del brote (% de estudios)	Población susceptible de padecer la enfermedad	Localización del brote (% de estudios)	Mecanismo de transmisión	Simulación / modelado adaptable a otras pandemias
<b>Prieto et al., 2012 (55)</b>	Gripe (23/23, 100 %)	Cualquier brote	NA	Poblaciones de las zonas afectadas	Los estudios seleccionados debían ser simulaciones de ubicaciones concretas (no especificadas)	La principal vía de transmisión de la gripe humana es la que se produce a través de las gotitas de Pflügge ( > 5 micras) originadas al hablar, tosar o estornudar por la persona infectada alcanzando posteriormente las mucosas oral, nasal o conjuntival de un nuevo huésped	ND
<b>Andraud et al., 2012 (56)</b>	Dengue (42/42, 100 %)	Brotes comprendidos entre los años 1992-2011	Brotes en 1992 (1/42, 2,38 %); Brotes en 1997 (1/42, 2,38 %); Brotes en 1998 (1/42, 2,38 %); Brotes en 1999 (2/42, 4,76 %); Brotes en 2000 (1/42, 2,38 %); Brotes en 2002 (1/42, 2,38 %); Brotes en 2003 (2/42, 7,14 %); Brotes en 2004 (1/42, 2,38 %); Brotes en 2005 (2/42, 4,76 %); Brotes en 2006 (4/42, 9,52 %); Brotes en 2007 (4/42, 9,52 %); Brotes en 2008 (8/42, 19,05 %); Brotes en 2009 (4/42, 9,52 %); Brotes en 2010 (4/42, 9,52 %); Brotes en 2011 (5/42, 11,91 %)	Regiones tropicales o subtropicales con pandemias endémicas de Dengue	ND	Vector (mosquito Aedes)	ND

ND: no descrito; NA: no aplica

# Resultados de la perspectiva analizada

Según la estructura SPICE planteada (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) (32), tras los resultados del escenario del apartado previo, se recogen en este apartado los resultados sobre la perspectiva objeto de modelización o simulación en cada una de las RS incluidas. La perspectiva se refiere al ámbito de aplicación del modelo o de la simulación y de sus usuarios. Los resultados sobre la perspectiva objeto de modelización o simulación recogidos incluyen:

- **Ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario.** Se refiere al ámbito del sistema sanitario que contempla la modelización o la simulación (primaria, UCI, sociosanitario, total...). En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones que analicen diferentes ámbitos de aplicación, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada uno de los ámbitos.
- **Tipo de financiación del sistema sanitario contemplado.** La financiación y acceso al sistema sanitario puede ser relevante para la modelización o simulación.
- **Adaptabilidad a otros sistemas sanitarios o niveles asistenciales.** Posibilidad que los modelos o simuladores de ser adaptados a otros sistemas o niveles asistenciales si así se especifica en la RS incluida.
- En la Tabla 3 se recogen los resultados de la perspectiva analizada en las 20 RS incluidas siguiendo la estructura de apartados definidos anteriormente. La Tabla 3 solamente recoge 4 de las RS incluidas (37,45,47,50) y solamente uno de los apartados anteriormente definidos (ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario) al no detectar ninguno de los autores del presente informe más datos en ninguna de las otras RS incluidas ni para el resto de apartados.

Tabla 3. Principales resultados de la perspectiva analizada	
Estudios Año	Ámbito de aplicación del sistema sanitario (primaria, UCI, sociosanitario, total...) (% de estudios)
Wynants et al., 2022 (37)	Ingresos 496 modelos (82 %), triaje 6 modelos (1 %), primaria 3 modelos (0,5 %), otros 25 modelos (4 %), ND 47 modelos (8 %)
Klein et al., 2022 (45)	Ámbito hospitalario (6/6, 100 %)
Lorig et al., 2021 (47)	Total (en sus conclusiones, no desagregado por número de estudios)
Hoyos et al., 2021 (50)	Total (en sus conclusiones, no desagregado por número de estudios)

## Resultados de la intervención analizada

Según la estructura SPICE planteada (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) (32), en tercer lugar, se plasma una tabla que recoge los resultados sobre la intervención objeto de modelización o simulación en cada una de las RS incluidas. La intervención hace referencia a las patologías contempladas por los modelos o simuladores, la metodología de modelización, la metodología de simulación, el posible uso de IA, ML o DL, el coste computacional y el mecanismo de validación. Los resultados sobre la perspectiva objeto de modelización o simulación recogidos incluyen:

- Patologías contempladas por los simuladores. Las situaciones o enfermedades analizadas por los modelos y simuladores son situaciones de pandemia o brote de una enfermedad que pueden desencadenar un tensionamiento del sistema sanitario que a su vez puede comprometer tanto el diagnóstico o tratamiento de patologías desencadenantes y de otras patologías. Especialmente de interés puede ser la inclusión en la modelización o simulación de patologías crónicas o tiempo dependientes. En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones que analicen diferentes patologías, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada una de las enfermedades.
- Metodologías de modelización y simulación. En este apartado se recopilan las diferentes metodologías de modelización o simulación desarrolladas en los modelos o simuladores que contienen las RS incluidas. Estas metodologías han sido previamente explicadas en el presente informe en los apartados *Modelización en epidemiología* y *Simulación en epidemiología en la Introducción*. En el caso de que la RS incluya modelizaciones o simulaciones basadas en diferentes metodologías, se incluye el porcentaje de estudios incluidos en cada una de ellas que analizan cada una de las enfermedades.
- Uso de ML, IA o DL. Se recopiló la evidencia sobre el uso de ML, IA o DL en el modelo o simulación usados. En los casos en los que se contempla su uso, se indicó (si esa información está recogida en la RS incluida) si usa ML, IA o DL, y el porcentaje de estudios incluidos en cada RS incluida que usa cada una de estas metodologías.

- Características ML, IA o DL. Dada la gran novedad que supone la incorporación de las técnicas basadas en IA, ML o DL en la modelización o simulación en epidemiología, si los modelos o simuladores incorporaban estas técnicas (respuesta afirmativa del apartado de extracción anterior) se recopiló información sobre las características de la técnica usada y su finalidad (si esta información está disponible en la RS incluida).
- Coste computacional. La modelización o simulación en epidemiología puede suponer un gran coste computacional dependiendo de las variables tenidas en cuenta en el modelo o simulador y de la metodología aplicada. Este aspecto puede ser de gran relevancia al implicar la adquisición de nuevos equipos con una mayor capacidad de cómputo. Si la RS incluida recogía información sobre el coste computacional requerido por los modelos o simuladores que incluye se sintetizó esta información en este apartado.
- Mecanismo de validación. Validación del modelo o simulador mediante metodologías estadísticas de validación con el uso o no de otros datos. Esta validación puede haber sido realizada por los autores de las RS incluidas o por los desarrolladores del modelo o simulador que se incluyen en las RS. En ambos casos, si la información aparecía en la RS incluida fue recopilada por los autores del presente informe incluyen la metodología de validación, el uso o no de otras bases de datos y el porcentaje de estudios primarios incluidos en cada RS que usaban cada una de las validaciones (en los casos en los que en una misma RS se aplicaran más de una metodología de validación).

En la Tabla 4 se recogen los resultados de la intervención analizada de las 20 RS incluidas siguiendo la estructura de apartados definidos anteriormente (patologías contempladas por los simuladores o modelos, metodologías de modelización y simulación, uso de ML, IA o DL y sus características, coste computacional y mecanismo de validación).

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Smith et al., 2023 (41)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Estocástico (85 %), <i>Agent based</i> o <i>Network Models</i> (53 %)	ND	NA	ND	ND
<b>Singh et al., 2023 (25)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> Simulación determinista (1,49 %), simulación de Monte Carlo (37,3 %), sistemas dinámicos (2,98 %), simulación dinámica continua modelo de Markov (1,49 %), simulación de eventos discretos (8,96 %), <i>Agent based simulation</i> (32,84 %) y simulación híbrida (14,93 %)	ND	NA	ND	ND
<b>Zhang et al., 2022 (42)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)  Patología cardíaca crónica (0,27 %)	<b>Simulación:</b> <i>Agent based</i> (74 %), eventos discretos (8,5 %), sistemas dinámicos (14,5 %) y simulación híbrida (3 %)	Sí (0,8 %)	AI (1/372, 0,27 %) anticipación de los retos de la vacunación preventiva en un entorno escolar, ML (2/372, 0,54 %) combinación de ML con ABM para calcular los efectos de la pandemia en el sistema bancario y en la economía real	ND	ND

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Wynants et al., 2022 (37)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Regresión logística, <i>tree-based</i> , <i>red neural</i> , <i>support vector machine</i> , <i>AdaBoost</i> , <i>Gaussian Naive Bayes</i> , <i>linear discriminant analysis</i> , regresión de Cox y <i>Cox proportional hazards regression</i> .	ND	NA	ND	Validados 510/606 modelos (84,1 %): desarrollo sin validación (96 modelos, 16 %), desarrollo con validación interna: <i>bootstrap validation</i> , <i>cross validation</i> , <i>random training test splits</i> , <i>temporal splits</i> (185 modelos, 31 %), desarrollo con validación externa: base de datos de pacientes diferente (100 modelos, 17 %) y solamente validación externa (225 modelos, 37 %)

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Saleem et al., 2022 (38)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> <b>ML (28 %):</b> <i>Support vector machines</i> (23 %), <i>Decision Trees</i> (17 %), <i>Boosting</i> (15 %), <i>Naïve Bayes</i> (12 %), <i>Random Forest</i> (12 %), <i>Artificial Neural Net</i> (9 %), <i>K-Nearest Neighbor</i> (9 %), <i>MLP</i> (3 %). <b>DL (36 %):</b> <i>Convolutional neural network</i> (41,67 %), <i>Recurrent neural network</i> (12,5 %), <i>Long short-term memory</i> (25 %), <i>Support vector machine</i> (20,83 %). <b>Otros modelos (36 %):</b> <i>Exponential growth model</i> (10,71 %), <i>ARIMA</i> (7,14 %), <i>GAM</i> (3,57 %), <i>SEIR model</i> (3,57 %), <i>SIR</i> (3,57 %), <i>FB Prophet</i> (10,71 %), <i>SIRF model</i> (3,57 %), <i>SIMLR</i> (3,57 %), <i>Regression</i> (53,57 %)	Sí (64 %)	<b>Aplicaciones de los modelos ML:</b> Predicción de la expansión del virus, ratio de transmisión del virus, ending point, factores meteorológicos y otras condiciones asociadas con el virus, detección de casos de gravedad, análisis y clasificación imágenes CT, medida del impacto de las restricciones sociales en la expansión del virus, repercusión de las restricciones de movilidad en la expansión del virus, medida de depresión y ansiedad en personas afectadas con COVID19 e influencia de la densidad de población en la expansión del virus	ND	<i>Split validation</i> (77 %), <i>cross validation</i> (23 %)

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) (% de estudios)	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> (% de estudios)	<b>Basado en ML, IA, DL</b> (% de estudios)	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> (% de estudios)	<b>Mecanismo de validación</b> (% de estudios)
<b>Saleem et al., 2022 (38)</b>				<b>Aplicaciones de los modelos DL:</b> Detección de la infección COVID19 usando imágenes CT, descubrir características ocultas, pronóstico de evolución en los próximos días del paciente, correlación de factores externos con las medidas de restricción sociales usando datos espacio temporales  <b>Aplicaciones de otros modelos matemáticos:</b> Predicción temprana, ratio de crecimiento y número de fallecimientos y recuperaciones		
<b>Kimani et al., 2022 (43)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Estocásticos (24 %), deterministas (77 %).	No	NA	ND	ND
<b>Aguar et al., 2022 (44)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Determinista (94,6 %), estocástica (14,29 %), espacial (3,57 %).	ND	NA	ND	100 % validados: 57,14 % validados con otros datos y 42,86 % validados sin datos



**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Klein et al., 2022 (45)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Distribución gamma (33,33 %), SIR model (16,66 %), distribución exponencial (33,33 %), distribución empírica (16,66 %), ND (16,66 %)	No	NA	ND	ND
<b>Shakeel et al., 2021 (46)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> SEIR e IA (3,33 %), <i>software</i> , modelo o análisis estadístico (16,66 %), <i>machine learning</i> (20 %), SEIR (3,33 %), AI (6,66 %), LSTM (13,33 %), regresión logística (6,66 %), ARIMA (6,66 %), PA, ARIMA, LSTM (3,33 %), modelo de regresión (6,66 %), Grey Verhulst (3,33 %), GLEM (3,33 %), <i>network-based forecasting</i> (3,33 %)	Sí (46,67 %)	IA (6,66 %), ML (20 %), LSTM (RNN o DL, 16,66 %)	ND	ND

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Lorig et al., (47) 2021</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> <i>Agent based simulation</i> (100 %)	Sí (100 %)	IA (100 %)	ND	Validación interna: <i>Real-world data</i> , comparación con otros modelos, pruebas sistemáticas, evaluación de conclusiones y validación de solidez por expertos (25 %). ND en 75 %
<b>Payedimarri et al., (48) 2021</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> SIR (12,5 %), mecanística (12,5 %), SEIR (12,5 %), regresión lineal (1/8, 12,5 %), TOPSIS (12,5 %), <i>neural network augmented</i> (12,5 %), <i>Agent based simulation</i> (12,5 %), empírica (12,5 %)	Sí (100 %)	IA/ML (100 %)	ND	ND

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) (% de estudios)	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> (% de estudios)	<b>Basado en ML, IA, DL</b> (% de estudios)	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> (% de estudios)	<b>Mecanismo de validación</b> (% de estudios)
<b>Ozsezer et al., 2021 (49)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> CNN (30,77 %), SVM (19,23 %), LR (11,54 %), LSTM (11,54 %), <i>Random Forest</i> (11,54 %), <i>Decision Tree</i> (11,54 %), ANN (7,69 %), KNN (7,69 %), RNN (7,69 %), DNN (7,69 %), CDNN (7,69 %), GMDH (3,85 %), MLP (3,85 %), chatbot (3,85 %), MAE (3,85 %)	Sí (100 %)	IA (100 %) 66 % propósitos diagnósticos, 7 % predicción de vías de transmisión, 7 % predicción de mortalidad, 7 % análisis incremento de casos, 3 % predicciones de las dinámicas de expansión, 3 % severidad de las lesiones, 3 % detección precoz, 3 % detección de casos positivos	ND	ND
<b>Hoyos et al., 2021 (50)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> <i>Logistic Regression</i> (42 %), <i>Artificial neural network</i> (7 %), <i>Random Forest</i> (6 %), <i>Decision Trees</i> (6 %), <i>support vector machines</i> (2 %), <i>gradient boosting machines</i> (2 %), <i>fuzzy logic</i> (1 %), <i>structural equations</i> (1 %)	Sí (100 %)	ML (100 %)	ND	ND

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Dogan et al., 2021</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Simulación:</b> CNN (25 %), RF (17 %), ResNet (15 %), SVM (14 %), DL (7 %), SIR (6 %), Reg (5 %), LSTM (4 %), NN (4 %), Unet (4 %), VGG (4 %), Xception (4 %), GoogLeNet (3 %), DenseNet (3 %), XGB (3 %), DT (3 %), LR (3 %), TL (3 %), Inception (2 %), MobileNet (2 %), AlexNet (2 %), Bn (2 %), MP (2 %), N/A (2 %), Prediction Models (2 %), SqueezeNet (2 %), SVR (2 %), NasNetMobile (2 %), KNN (2 %), DarkNet (1 %), ARIMA (1 %), BayesSqueezeNet (1 %), BERTGPT (1 %), CovNet (1 %), DNN (1 %), ELM (1 %), EM (1 %), GBM (1 %), Wibull Distribution (1 %), GPT (1 %), PR (1 %), SMO (1 %), Softmax (1 %), Transformer (1 %), RT (1 %), NLP (1 %), ShuffleNet (1 %), NB (1 %), Discriminant (1 %), MLP (1 %)	Sí (100 %)	Finalidades del uso de IA/ML: clasificación, diagnóstico u otra (advertencias tempranas o alertas)	ND	Validación interna de diferentes parámetros: Exactitud (31 % de los estudios), AUC (12 %), explained variance (2 %), F1-score (7 %), precisión (6 %), R squared (3 %), RMSE (1 %), Sensibilidad (20 %), especificidad (18 %)

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) (% de estudios)	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> (% de estudios)	<b>Basado en ML, IA, DL</b> (% de estudios)	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> (% de estudios)	<b>Mecanismo de validación</b> (% de estudios)
<b>Eunice et al., 2021 (39)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Compartimental (46,15 %), estadística (31,77 %), basada en IA (6,69 %), bayesiana (4,68 %), híbrida (3,34 %), modelos en red (2,34 %), basados en agente (1,34 %), otros (3,68 %)	Sí (100 %)	IA (6,69 %) Los modelos basados en IA se utilizaron principalmente con finalidad de análisis de la dinámica del virus (con o sin predicciones) y análisis del impacto de las medidas de control	ND	Validación de los autores de la RS de la exactitud y/o precisión: <b>Exactitud de las predicciones de los modelos:</b> relación entre el número de casos acumulados predichos sobre el número real de casos acumulados observados en 33 estudios. Relación entre el número de muertes acumuladas predichas sobre el número real de muertes acumuladas observadas en nueve estudios

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) (% de estudios)	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> (% de estudios)	<b>Basado en ML, IA, DL</b> (% de estudios)	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> (% de estudios)	<b>Mecanismo de validación</b> (% de estudios)
<b>Eunice et al., 2021 (39)</b>						<b>Precisión de las predicciones de los modelos:</b> relación de la amplitud del IC del 95 % o del IRC del 95 % del número acumulado de casos previsto sobre el número acumulado de casos previsto en 14 estudios. Relación de la amplitud del IC del 95 % o IC del 95 % del número acumulado previsto de muertes sobre el número acumulado previsto de muertes en nueve estudios
<b>Carias et al., (52) 2019</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Modelos compartimentales (14/26, 53,85 %), modelos estadísticos (7/26, 26,93 %), modelos basados en agente (2/26, 7,69 %), modelos mixtos (2/26, 7,69 %), branching process (1/26, 3,85 %)	No	NA	ND	ND

**Tabla 4. Principales resultados de la intervención analizada (continuación)**

<b>Estudios Año</b>	<b>Patologías contempladas por los simuladores o modelos</b> (patologías estrictamente relacionadas con la catástrofe, patologías crónicas, patologías tiempo dependientes...) <b>(% de estudios)</b>	<b>Metodologías de modelización y simulación</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Basado en ML, IA, DL</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Características ML, IA, DL</b> (en caso de que la anterior respuesta sea afirmativa)	<b>Coste computacional</b> <b>(% de estudios)</b>	<b>Mecanismo de validación</b> <b>(% de estudios)</b>
<b>Smith et al., 2018 (53)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Modelización <i>Agent based</i> (100 %)	ND	NA	ND	31 de los estudios incluidos en la RS describen técnicas de validación interna y 7 describen técnicas de optimización
<b>Wong et al., 2017 (54)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Modelización fenomenológica (26,83 %); modelización mecanística (10,73 %); ambos (2,44 %)	ND	NA	ND	ND
<b>Prieto et al., 2012 (55)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Basados en modelos de clusterización (100 %)	ND	NA	4 de los estudios incluidos aluden a las necesidades computacionales, de 1 a 32 CPUS y de 25 minutos a 6 horas (gran variabilidad)	ND
<b>Andraud et al., 2012 (56)</b>	Patologías estrictamente relacionadas con la enfermedad (100 %)	<b>Modelización:</b> Modelos matemáticos deterministas (100 %): modelos de un solo serotipo (42,86 %), modelos con múltiple serotipo transmisión vector huésped (28,80 %), modelos con múltiple serotipo transmisión huésped huésped (33,33 %)	No	NA	ND	ND

ND: no descrito; NA: no aplica; IA: inteligencia artificial; ML: *machine learning*

## Resultados de los indicadores para la simulación o modelado

Continuando con la estructura SPICE planteada (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) (32), y al no contar la pregunta SPICE planteada en este informe de comparador, a continuación se recogen los resultados sobre los indicadores (y las variables que los componen) contemplados en cada uno de los modelos o simuladores incluidos en las RS incluidas en este informe.

Los indicadores son los elementos que contemplan los modelos o simuladores para representar la dinámica de la enfermedad en la población y el efecto que tienen o pueden tener sobre ella la toma de diferentes tipos de medidas. En el presente informe los indicadores se dividieron en 3 tipos:

- Indicadores clínicos: son aquellos indicadores que contemplan la evolución de la enfermedad epidémica en la población y las variables clínicas de las intervenciones farmacológicas.
- Indicadores de gestión sanitaria: son aquellos indicadores que contemplan el efecto sobre la pandemia de la gestión de las intervenciones farmacológicas y no farmacológicas en el entorno sanitario y no sanitario.
- Otros tipos de indicadores: este tipo de indicador aglutina indicadores no clínicos ni de gestión que influyan sobre la dinámica de la pandemia, como indicadores sociales o climáticos.

Cada uno de los indicadores contemplados en los simuladores o modelos están compuestos por una o más variables. En algunos casos, el indicador puede ser el mismo pero sus variables ser diferentes, por esta razón un mismo indicador puede ser tanto indicador clínico como de gestión dependiendo de las variables que lo compongan.

Además de los indicadores y las variables que los componen y su clasificación, se sintetizaron los datos sobre el tipo de modelización o simulación usada para cada una de las variables contempladas y el número de modelos o simuladores dentro de cada una de las RS incluidas que recogían esa variable. No se estableció un número mínimo de estudios que incluyeran las variables o indicadores, por lo que esto no fue un motivo de exclusión.

En la Tabla 5 se recogen los resultados de los indicadores para la simulación o modelado de las 20 RS incluidas siguiendo la estructura de apartados definidos anteriormente (tipo de indicadores, indicadores, variables que componen el indicador, tipo de modelización o simulación y número de estudios que la contienen).



**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Smith <i>et al.</i> , 2023 (41)	Clínicos	Transmisión	Número de reproducción básico	Modelización estocástica	1
			Cuantificación de casos de transmisión trabajadores sanitarios-pacientes (en ambos sentidos)	ND	8
			Tipo de transmisión (presintomática / asintomática)	ND	2
		Estado del paciente	Susceptible, expuesto, infectado asintomático, infectado sintomático, recuperado o inmunizado	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	10
			Identificación de infecciones asintomáticas	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	8
		Testeo	Sensibilidad del test	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	11
		Vacunación	Reducción morbilidad/mortalidad	ND	2
	Gestión sanitaria	Testeo	Disponibilidad de test	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	11
			Testeo rutinario de trabajadores sanitarios, pacientes o residentes	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	7
			Testeo rutinario de individuos no sintomáticos	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	4
		EPIs	Disponibilidad de EPIs	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	6
		Organización del sistema sanitario	División física de las áreas hospitalarias	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	6
			Aislamiento de casos positivos	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	6
			Organización del personal en equipos	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	5
		Vacunación	Priorización de la vacunación	Modelización estocástica y <i>agent-based</i>	8

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Singh <i>et al.</i> , 2023 (25)	Clínicos	Riesgo de transmisión	Número de reproducción básico	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i> , simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	52
		Medicación	Testeo de adecuación de tratamientos	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i>	3
		Estado del paciente	Sospechoso, infectado o recuperado	ND	ND
	Gestión sanitaria	Medidas de control / restricción	Cuarentena	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i> , simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	52
			Distanciamiento social	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i> , simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	52
			Aislamiento	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i> , simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	52
			Higiene de manos	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i> , simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	52
			Periodo del confinamiento	Simulación Monte Carlo, simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	6
			Disponibilidad de EPIs	Simulación Monte Carlo	ND
			Evaluación del tratamiento precoz	Simulación Monte Carlo	ND
		Necesidades hospitalarias	Capacidad hospitalaria (camas en planta y de UCI)	Simulación <i>agent-based</i>	1
			Personal disponible	Simulación <i>agent-based</i>	1
			Formación de personal adicional	Simulación Monte Carlo, simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	6
			Límite de admisión y descarga	Simulación <i>agent-based</i>	1
			Manejo de desabastecimiento de productos sanitarios	Simulación de eventos discretos	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Singh et al., 2023 (25)	Gestión sanitaria	Testeo	Disponibilidad de test	Simulación Monte Carlo, simulación <i>agent-based</i>	3
		Vacunación	Priorización de vacunación	Simulación <i>agent-based</i>	ND
		Otras políticas públicas	Suspensión de eventos públicos	Simulación Monte Carlo	ND
			Cierre de instituciones de enseñanza	Simulación Monte Carlo	ND
	Otros	Gestión de abastecimiento de bienes básicos	ND	Simulación de eventos discretos	1
		Situación de empleabilidad	ND	Simulación Monte Carlo, simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	6
		Estigmatización social	ND	Simulación <i>agent-based</i>	1
		Bienestar mental	ND	Simulación <i>agent-based</i>	1
		Crisis económica	ND	Simulación Monte Carlo, simulación eventos discretos, simulación de sistemas dinámicos y simulación híbrida	6

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Zhang et al., 2022 (42)	Clínicos	Estado del paciente	Susceptible, expuesto, infectado, recuperado, muerto	Simulación <i>Agent based</i> y simulación de sistemas dinámicos	9
			Susceptible, infectado, recuperado, muerto	Simulación <i>Agent based</i> y simulación de sistemas dinámicos	3
			Susceptible, infectado, recuperado	Simulación de sistemas dinámicos	1
			Susceptible, expuesto, infectado, recuperado	Simulación de sistemas dinámicos	2
			Presintomático, asintomático, sintomático	Simulación de sistemas dinámicos	5
			Paciente hospitalizado o en tratamiento	Simulación de sistemas dinámicos	3
			Tipo infección COVID (asintomática, leve, severa, hospitalizada)	Simulación <i>Agent based</i>	12
		Transmisión	Número de reproducción básico	ND	7
			Transmisión por superficie de contacto u objetos	Simulación <i>Agent based</i>	1
			Número de infecciones acumuladas	ND	2
		Inmunidad a la enfermedad	Pérdida de inmunidad	Simulación <i>Agent based</i>	1
			Inmunidad cruzada	ND	1
		Vacunación	Individuos vacunados	Simulación de sistemas dinámicos	2
		Variantes	Proporción de variantes en circulación	ND	1
		Mortandad	Número de muertes	ND	1
			Mortalidad	ND	2
		Tratamiento	Proporción de pacientes en tratamiento	Simulación de sistemas dinámicos	3
			Tipo de tratamiento	ND	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Zhang et al., 2022 (42)</b>	<b>Gestión sanitaria</b>	Ámbito de interacción del individuo	Red social (familia, escuela, trabajo o comunidad)	Simulación <i>Agent based</i>	8
			Comportamientos individuales	ND	3
			Relaciones sociales en una región o nación	Simulación <i>Agent based</i>	6
		Medidas de control / restricción	Cuarentena	Simulación de sistemas dinámicos	3
			Aislamiento	Simulación de sistemas dinámicos	1
			Confinamiento	ND	2
			Duración del confinamiento	ND	1
			Distanciamiento social	ND	1
			Ámbito de aplicación de las medidas	ND	45
		Evaluación del impacto en el trabajo de la organización	Evaluación del impacto en el flujo de trabajo de la organización y su optimización	Simulación de eventos discretos	6
		Geolocalización	Datos geoespaciales	Simulación <i>Agent based</i>	6
			Datos de movilidad humana	Simulación <i>Agent based</i>	5
		Instalaciones sanitarias	Instalaciones de testeo	Simulación de eventos discretos	5
			Centros de vacunación	Simulación de eventos discretos	1
			Hospitales especializados	Simulación de eventos discretos	2
		Dinámicas de transmisión	Lugar de exposición	ND	17
		Testeo	Disponibilidad de test	ND	1
		Capacidad hospitalaria	Admisiones	ND	1
			Demanda de camas UCI	ND	1
		Vacunación	Priorización de vacunación	ND	28
		Reapertura de instituciones	Apertura de centros educativos, perímetros de ciudades y fronteras	ND	6

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Zhang et al., 2022 (42)	Gestión sanitaria	Medidas de impacto intersectorial	Disrupción de las cadenas de abastecimiento	ND	10
			Estrategias intersectoriales de recuperación tras la pandemia	ND	2
			Disrupción en otras organizaciones sanitarias	ND	8
	Otros	Efectos en el sistema bancario y en la economía	ND	Simulación <i>Agent based</i>	1
		Impacto en otros sectores	Sectores analizados (industrial, seguridad nacional, agua- energía-alimento, economía, financiero, actividades sociales, empleo, sistema sanitario, transporte)	ND	20
Wynants et al., 2022 (37)	Clínicos	Mortandad	Mortalidad	ND	265
			Porcentaje de progresión a enfermedad grave	ND	84
		Evolución de la patología	Porcentaje de admisión en UCI	ND	53
			Porcentaje de hospitalización	ND	ND
			Porcentaje de síndrome de distrés respiratorio	ND	ND
			Porcentaje de shock séptico	ND	ND
			Porcentaje de fallo orgánico	ND	ND
			Porcentaje de complicaciones cardiovasculares	ND	ND
			Porcentaje de complicaciones trombóticas	ND	ND
			Porcentaje de pacientes recuperados	ND	ND
		Soporte	Porcentaje de necesidad de intubación	ND	ND
			Duración de ventilación mecánica	ND	ND
			Porcentaje de oxigenoterapia	ND	ND
			Flujo de oxígeno	ND	ND
		Origen de la infección	Porcentaje de infecciones nosocomiales	ND	ND
	Gestión sanitaria	Capacidad hospitalaria	Admisión hospitalaria	ND	ND
			Readmisión hospitalaria	ND	ND
			Admisión en UCI	ND	ND
			Duración de la estancia hospitalaria	ND	ND
		Medidas de control / restricción	Duración de aislamiento	ND	ND

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Saleem et al., 2022 (38)	Clínicos	Estado del paciente	Susceptible, expuesto, infectado, recuperado, muerto	ND	1
		Cuadro clínico	Detección de la gravedad	Uso de ML	1
		Características de los pacientes	Demográficas	ND	ND
			Edad	Uso de ML	1
		Transmisión	Historial de enfermedades previas	ND	9
			Número básico de reproducción	ND	12
			Número de casos reportados	ND	20
			Periodo de duplicación	ND	8
			Tasa de crecimiento	ND	8
		Pruebas de imagen	Presencia de depresión/ansiedad	Uso de ML	1
		Mortalidad	TC compatible con infección	Uso de ML y DL	3
		Salud mental	Número de muertes	ND	ND
	Gestión sanitaria	Medidas de control / restricción	Cuarentena	ND	6
			Expansión del virus tras aplicar la cuarentena	Uso de ML y DL	1
			Expansión del virus tras aplicar restricciones de viajes	Uso de ML y DL	6
	Otros	Clima	ND	Uso de ML	1
		Temperatura	ND	Uso de ML	1
		Polución	ND	Uso de ML	1
		Producto Interior Bruto del país	ND	Uso de ML	1
		Densidad de población	ND	Uso de ML	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Kimani et al., 2022 (43)	Clínicos	Estado del paciente	Susceptible, expuesto, infectado, recuperado	ND	30
			Susceptible, expuesto, infectado, recuperado, vacunado, en cuarentena, hospitalizado, protegido por medidas de aislamiento	ND	44
			Ratio de recuperación	ND	50
			Ratio de progresión de expuesto a infectado	ND	50
			Ratio de progresión de los individuos confinados o en cuarentena	ND	50
			Ratio de hospitalizaciones	ND	1
		Evolución de la pandemia	Ratio de tests positivos	ND	50
			Ratio de detección de casos asintomáticos	ND	50
			Ratio de transmisión	ND	50
			Proporción de casos importados	ND	5
			Probabilidad de próximas olas	ND	21
		Vacunación	Eficacia de la vacuna	ND	50
	Gestión sanitaria	Capacidad hospitalaria	Camas disponibles en UCI	ND	50
			Camas disponibles en planta para pacientes graves	ND	21
		Recursos humanos hospitalarios	Personal sanitario disponible	ND	50
		Protección del personal sanitario	Disponibilidad de EPIs para el personal	ND	50
		Medidas de control / restricción	Aislamiento de comunidades	ND	50
			Aislamiento de infectados	ND	21
			Testeo en los puntos de entrada	ND	5
			Ratio de confinamiento	ND	50
			Testeo masivo	ND	50
			Rastreo de contactos de los infectados	ND	50
			Proporción de personas adheridas a las medidas	ND	55
		Vacunación	Inmunidad de grupo	ND	50
			Priorización de vacunación	ND	21
	Otros	Datos móviles	Datos de movilidad de Google	ND	9
			Datos locales de Twitter	ND	9
		Evaluación económica	Coste-efectividad de las medidas de control	ND	50



**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Aguiar et al., 2022 (44)	Clínicos	Evolución de la pandemia	Ratio de transmisión huésped-huésped	Modelización huésped-huésped	12
			Ratio de transmisión vector-huésped	Modelización vector-huésped	18
			Ratio de transmisión huésped-vector	Modelización vector-huésped	17
			Grado de protección cruzada	Modelización huésped-huésped	9
			Aumento de la susceptibilidad	Modelización huésped-huésped	1
			Aumento de la transmisibilidad	Modelización huésped-huésped	7
			Tasa de picadura	Modelización vector-huésped	9
		Estado del paciente	Ratio de recuperación	Modelización huésped-huésped	14
			Ratio de fallecimiento	Modelización vector-huésped	12
			Ratio de incubación en el huésped	Modelización vector-huésped	14
			Mortalidad por la enfermedad	Modelización vector-huésped	6
		Inmunidad	Periodo de protección cruzada temporal	Modelización huésped-huésped	18
		Vacunación	Eficacia de la vacuna	Modelización huésped-huésped	10
			Transmisibilidad tras la vacunación	Modelización vector-huésped	1
			Periodo de protección tras la vacunación	Modelización vector-huésped	6
			Susceptibilidad tras la vacunación	Modelización vector-huésped	1
		Desarrollo clínico del paciente	Valor inicial para las células objetivo	Modelización intrahuésped	6
			Valor inicial de partículas virales libres tras la infección	Modelización intrahuésped	3
			Número inicial de células infectadas	Modelización intrahuésped	4
			Tasa de producción de células objetivo	Modelización intrahuésped	8
			Tasa de muerte de células objetivo susceptibles	Modelización intrahuésped	6
			Tasa de infección de células objetivo susceptibles	Modelización intrahuésped	5
			Tasa de mortalidad de células objetivo infectadas	Modelización intrahuésped	8

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Aguilar et al., 2022 (44)	Clínicos	Desarrollo clínico del paciente	Tasa de eliminación de células infectadas por células inmunes	Modelización intrahuésped	4
			Factor de replicación viral	Modelización intrahuésped	6
			Tasa de eliminación de virus	Modelización intrahuésped	11
			Constante de proporcionalidad que relaciona la carga viral con la tasa de transmisión	Modelización intrahuésped	1
			Tasa de producción de anticuerpos/células inmunitarias	Modelización intrahuésped	7
			Tasa de desintegración de anticuerpos	Modelización intrahuésped	5
			Período de incubación	Modelización intrahuésped	7
			Tasa de producción de viriones en células perinfectadas	Modelización intrahuésped	2
			Tasa de reclutamiento de células NK Natural Killer	Modelización intrahuésped	2
			Tasa de destrucción de células NK Natural Killer	Modelización intrahuésped	4
			Tasa de reclutamiento de células T	Modelización intrahuésped	3
			Tasa de destrucción de células T	Modelización intrahuésped	3
			Tasa de destrucción de células objetivo infectadas por células Natural Killer NK	Modelización intrahuésped	2
			Tasa de producción de INF interferón	Modelización intrahuésped	1
			Tasa de desintegración del INF interferón	Modelización intrahuésped	2
			Tasa de activación de anticuerpos con reacción cruzada	Modelización intrahuésped	1
			Tasa de activación de anticuerpos específicos	Modelización intrahuésped	1
			Fracción de células infectadas que producen virus inmaduros	Modelización intrahuésped	1
	Gestión sanitaria	Vacunación	Cobertura de la vacunación	Modelización huésped-huésped y Modelización vector-huésped	9
	Otros	Factores climáticos	Amplitud estacional	Modelización huésped-huésped y Modelización vector-huésped	11
		Vector	Periodo de incubación en el vector	Modelización vector-huésped	10

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Klein <i>et al.</i> , 2022 (45)	Clínicos	Evolución de la pandemia	Gravedad de los pacientes	ND	1
			Número acumulativo de individuos susceptibles en la población	SIR	1
			Tasa de ataque	Gamma distribution or empirical distribution	1
			Número de reproducción básico	SIR, distribución exponencial	2
			Tiempo de duplicación	SIR, distribución exponencial o distribución empírica	3
			Número de reproducción efectivo	SIR	1
			Número actual de casos infectados	SIR	1
			Porcentaje de casos sintomáticos	Gamma distribution or empirical distribution	1
		Evolución de la infección	Porcentaje de casos que requieren hospitalización en planta	Gamma distribution, distribución empírica, SIR, distribución exponencial	5
			Porcentaje de casos que requieren cuidados críticos	Gamma distribution, distribución empírica, SIR, distribución exponencial	5
			Duración de la infección (Días)	SIR	1
			Porcentaje de casos que requieren ventilación mecánica	SIR, distribución exponencial, empirical distribution	3
		Estado del paciente	Susceptible, infectado, recuperado	SIR	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Klein et al., 2022 (45)	Gestión sanitaria	Necesidades hospitalarias	Número de hospitalizaciones	Gamma distribution, distribución empírica, SIR, distribución exponencial	6
			Ingresos en UCI	Gamma distribution, distribución empírica, SIR, distribución exponencial	6
			Flujo de pacientes: planta - UCI	Distribución exponencial y distribución empírica	2
			Capacidad de camas en planta	Gamma distribution or empirical distribution, Distribución exponencial,	3
			Capacidad de camas en UCI	Gamma distribution or empirical distribution, Distribución exponencial, ND	3
			Capacidad de ventiladores	Gamma distribution or empirical distribution, Distribución exponencial	3
			Personal médico (administradores, especialistas en salud pública...)	Distribución exponencial	2
			Camas planta disponibles	Distribución exponencial, distribución empírica,	3
			Camas UCI disponibles	Distribución exponencial, distribución empírica, ND	3
			Ventiladores disponibles	Distribución exponencial, distribución empírica, ND	3
			Disponibilidad de EPI	Distribución exponencial	1
			Tasa de hospitalización de casos covid	Gamma distribution o empirical distribution	2
			Censo de pacientes según localización (planta, UCI, ventilación)	Gamma distribution or empirical distribution, SIR, distribución exponencial	3
			Duración estancia hospitalaria	Gamma distribution or empirical distribution, SIR, distribución exponencial	6
			Índice de fatalidad	Gamma distribution o empirical distribution	1
			Media de días en cuidados de agudos	Gamma distribution	1
			Media de días en cuidados críticos	Gamma distribution, SIR	3
			Media de días de uso de ventilación mecánica	Gamma distribution, SIR	3
			Límite de incidentes máximos que pueden ocurrir en un día sin ocasionar déficits	Gamma distribution	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Shakeel et al., (46) 2021	Clínicos	Evolución de la pandemia	Previsión del patrón de la pandemia	SEIR y uso de IA (1), uso de ML (3), ARIMA (1)	5
			Número de casos diarios	PA, ARIMA, LSTM (1), RNN (1)	2
			Número acumulativo de casos confirmados	PA, ARIMA, LSTM (1), Vector regression model (1), Grey vrhulst model (1)	3
		Estado del paciente	Ratio de supervivientes/fallecimientos	Uso de ML (4), LSTM, GRU (1), Regresión logística (1)	6
			Ratio de enfermos críticos	Vector regression model (1)	1
			Factores de riesgo del paciente	Uso de ML	1
			Ratio de pacientes con necesidad de cuidados clínicos	Análisis estadístico	1
	Gestión sanitaria	Necesidades hospitalarias	Número de camas en planta	Modelo estadístico (1), regresión logística (1)	2
			Número de camas en UCI	Modelo estadístico	1
			Duración de estancias hospitalarias	Uso de ML	1
		Medidas de control / restricción	Aislamiento de ciudades	Uso de AI	1
Lorig et al., (47) 2021	Clínicos	Características del paciente	Edad	Agent based	22
			Grupo de edad	Agent based	56
			Género	Agent based	11
			Lugar de trabajo	Agent based	45
			Profesión	Agent based	9
			Hogar (solo o con convivientes)	Agent based	53
			Densidad de personas en el lugar de contacto	Agent based	18
			Localización (ejemplo, dentro/fuera de un edificio)	Agent based	47
			Estado de salud previo	Agent based	14

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Lorig et al., 2021 (47)	Clínicos	Estado del paciente	Susceptible, expuesto, infectado, infectado asintomático, infectado sintomático, enfermedad severa, enfermedad crítica, muerto, recuperado	Agent based	ND
			Tiempo desde la infección	Agent based	22
			Tiempo de exposición	Agent based	10
		Evolución de la pandemia	Número hospitalizaciones	Agent based	40
			Número infecciones	Agent based	119
			Número muertes	Agent based	49
			Número de contactos	Agent based	3
			Cadena de transmisión	Agent based	8
			Ratio de contactos	Agent based	16
		Vacunación	Eficacia de la vacuna	Agent based	6
		Tratamiento	Tipo de tratamiento	Agent based	1
		Testeo	Sensibilidad del test	Agent based	42
	Gestión sanitaria	Medidas de control / restricción	Confinamiento	Agent based	37
			Toque de queda	Agent based	2
			Limitación de las reuniones públicas	Agent based	3
			Limitación de las reuniones privadas	Agent based	4
			Cuarentena	Agent based	61
			Aislamiento	Agent based	61
			Distanciamiento social	Agent based	56
			Restricciones de movilidad/Prohibiciones de viajes	Agent based	9
			Cierre de escuelas	Agent based	24
			Cierre de universidades	Agent based	9
			Cierre de lugares de trabajo	Agent based	10
			Cierre de oficinas	Agent based	9
			Cierre de las tiendas	Agent based	3
			Cierre del ocio	Agent based	7
			Uso generalizado de mascarilla	Agent based	20
		Testeo	Rastreo de contactos	Agent based	39

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Lorig et al., 2021 (47)</b>	<b>Otros</b>	Economía	Consecuencias/efectos económicos	<i>Agent based</i>	12
		Censo	Datos censales	<i>Agent based</i>	58
		Movilidad	Datos de movilidad	<i>Agent based</i>	31
			Datos de GIS (sistemas de información geográfica)	<i>Agent based</i>	13
<b>Payedimarri et al., 2021(48)</b>	<b>Clínicos</b>	Evolución de la pandemia	Medida de la expansión	SIR (1), mecanística (1), SEIR (1), regresión lineal (1), <i>neural network augmented</i> (1), <i>Agent based simulation</i> (1)	6
			Control del pico pandémico	SIR (1), mecanística (1), regresión lineal (1)	3
			Riesgo de formación hotspot	TOPSIS (1)	1
		Estado del paciente	Susceptible-infectado-recuperado	SEIR (1), SIR (1)	2
			Ratio de recuperación	<i>Agent based simulation</i> (1)	1
	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Cuarentena afectados	<i>Neural network augmented</i> (1), empírica (1), SEIR (1)	3
			Cuarentena de viajeros	Mecanística (1)	1
			Distanciamiento social	SIR (1), <i>Agent based simulation</i> (1)	2
			Confinamiento	Mecanística (1), regresión lineal (1), empírica (1), TOPSIS (1)	4
			Control de transporte público	<i>Agent based</i> (1)	1
			Prohibición reuniones grupales	Empírica (1)	1
			Aislamiento	<i>Neural Network Augmented</i> (1)	1
			Cierre de colegios	Mecanística (1), <i>Agent based simulation</i> (1)	2
			Cierre de negocios con actividades no esenciales	Mecanística (1)	1
			Cierre de restaurantes	Mecanística (1)	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Ozsezer et al., 2021 (49)	Clínicos	Características del paciente	Edad	<i>Decision Tree</i> , SVM, ANN, <i>Random Forest</i> , LR, KNN, CNN, Chatbot, CDNN, gmdh	7
			Género	<i>Decision Tree</i> , SVM, ANN, <i>Random Forest</i> , LR, KNN, CNN, Chatbot, CDNN, gmdh	7
			Comorbilidades	<i>Decision Tree</i> , SVM, ANN, <i>Random Forest</i> , LR, KNN, Chatbot	4
			Historia de sintomatología	<i>Decision Tree</i> , SVM, ANN, <i>Random Forest</i> , LR, KNN, LSTM, LMP	7
			Pacientes de enfermedad crónica	ANN, SVM	1
			Pacientes con patologías previas	LR, <i>Decision Tree</i> , ANN, SVM, CNN, <i>Random Forest</i>	3
			Factores de riesgo	Chatbot	1
		Estado del paciente	Susceptible-infectado-grave-recuperado	SVM, RNN, LSTM	2
			Porcentaje de infectados hospitalizados	DNN	1
			Necesidad de UCI	DNN	1
		Mortandad	Mortalidad	DNN	1
		Testeo	Sensibilidad	SVM, LR, KNN, <i>Random Forest</i> , <i>Decision Tree</i> , CNN, CDNN, DNN, LSTM, MLP, Chatbot, <i>Simulation and ML AI assisted</i>	13
			Especificidad	SVM, LR, KNN, <i>Random Forest</i> , <i>Decision Tree</i> , CNN, CDNN, DNN, LSTM, MLP, Chatbot	11
			Porcentaje de pruebas positivas	SVM, KNN, <i>Decision Tree</i> , <i>Random Forest</i> , CNN, LSTM, MLP	4
		Pruebas de imagen	Porcentaje de radiografías de tórax positivas	CNN, CDNN	4
		Evolución de la pandemia	Número diario de casos	RNN, LSTM	1



**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Ozsezer et al., 2021 (49)	Gestión sanitaria	Medidas de control / restricción	Historial viajes del paciente	<i>Simulation and ML AI assisted, SVM, ANN, Random Forest, Decision Tree, LR, KNN</i>	3
			Uso de transporte privado	ANN, SVM	1
			Uso de transporte público	ANN, SVM	1
		Hospitalización	Duración de la estancia hospitalaria	ANN, SVM	1
	Otros	Climatología	Temperatura mínima, máxima y media	GMDH	1
			Humedad relativa	GMDH	1
			Velocidad del viento	GMDH	1
			Densidad poblacional	GMDH	1
		Datos urbanos			
Hoyos et al., 2021 (50)	Clínicos	Características del paciente	Edad	ND	31
			Género	ND	31
		Estado del paciente	Personas sanas – dengue – dengue severo	ND	1
		Resultados de laboratorio	Niveles de plaquetas	ND	25
			Niveles de leucocitos	ND	25
			Niveles de hematocritos	ND	25
			Niveles de albumina	ND	25
			Niveles de transaminasas	ND	25
		Resultados genómicos	Niveles de expresión de genes	ND	2
		Signos clínicos	Presión arterial	ND	21
			Fiebre	ND	21
			Dolor de articulaciones	ND	21
			Artralgia	ND	21
			Mialgia	ND	21
			Dolor de cabeza	ND	21
			Dolor retrocular	ND	21

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Hoyos et al., 2021 (50)</b>	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Geolocalización de móviles	ND	1
			País de destino	ND	1
	<b>Otros</b>	Economía	Nivel socio-económico	ND	31
		Demografía	Tipos de vivienda	ND	31
		Climatología	Temperatura	ND	29
			Precipitaciones	ND	29
			Termogramas	ND	1
		Topografía	Elevación del terreno	ND	29
		Datos de internet	Google Trends	ND	7
			Search Index	ND	7
			Twitter	ND	7
		Entomología	Índice de Breteau	ND	7
			Índice de contenedores	ND	7
			Índice de adulto	ND	7
			Tasa de predación	ND	7
			índice de casa	ND	7
<b>Dogan et al., 2021 (51)</b>	<b>Clínicos</b>	Resultados de laboratorio	Ratio de monocitos	RF	1
			Presión sanguínea	RF	1
			Enfermedad severa	RF y REG	2
			Perfil de riesgo	REG y CNN	2
			Riesgo de mortalidad	XGBoost	1
			Predicción de hospitalización	RF y REG	1
			Duración de la enfermedad	LSTM	2
			Predicción de la transmisión	LSTM, RNN, TL	2
			Monitorización de la enfermedad	CNN	1
			Sintomatología	ND	1
		Pruebas de imagen	Porcentaje de TAC positivas	ND	ND
			Porcentaje de radiografías de tórax positivas	ND	ND
		Tratamiento	Desarrollo de fármacos	ND	7

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Dogan et al., 2021 (51)</b>	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Rastreo de contactos	ND	2
			Cuarentena	ND	2
			Autoaislamiento	ND	2
			Fechas de viajes	ND	1
			Restricciones de viajes	ND	5
			Control de movilidad humana	ND	5
			Distanciamiento social	ND	5
<b>Eunice et al., (39) 2021</b>	<b>Clínicos</b>	Estado del paciente	Susceptible – expuesto – infectado – recuperado	ND	ND
		Evolución de la pandemia	Número de reproducción	ND	ND
			Ratio de fallecimientos	ND	ND
			Ratio de recuperación	ND	ND
			Periodo de incubación	ND	ND
			Periodo infeccioso	ND	ND
			Intervalo serial	ND	ND
			Tiempo de duplicación	ND	ND
			Periodo de latencia	ND	ND
			Periodo de contacto	ND	ND
	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Cuarentena	ND	ND
			Distancia social	ND	ND
			Confinamiento	ND	ND
			Aislamiento de casos	ND	ND
			Cierre de colegios	ND	ND
			Rastreo de contactos	ND	ND
			Restricciones de viajes aéreos a nivel internacional	ND	ND
			Uso de mascarillas	ND	ND
			Distanciamiento en el lugar de trabajo	ND	ND

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Carias et al., (52) 2019</b>	<b>Clínicos</b>	Evolución de la pandemia	Número de reproducción básico	Modelos compartimentales, modelos estadísticos, modelos basados en agente, modelos mixtos	13
			Número de reproducción efectiva	Modelos compartimentales, modelos estadísticos, modelos basados en agente, <i>branching process</i>	10
			Casos confirmados	Modelos estadísticos	2
			Casos probables	Modelos estadísticos	2
			Total casos (casos sospechosos + confirmados + probables)	Modelos compartimentales, modelos estadísticos, modelos basados en agente, modelos mixtos, <i>branching process</i>	25
			Underreporting ratio	Modelos compartimentales, modelos estadísticos, modelos basados en agente, modelos mixtos, <i>branching process</i>	11
			Fuente de la transmisión	Modelos compartimentales, modelos basados en agente, modelos mixtos, <i>branching process</i>	7
	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Restricciones de viaje	Modelo compartimental y mixto	2
			Cambios conductuales	Modelo compartimental	1
			Rastreo de contactos	Modelo compartimental	4
			Aislamiento de casos	Modelo compartimental	4
			Prácticas seguras en los entierros	ND	ND
		Necesidades hospitalarias	Mecanismos de precaución transmisión en trabajadores sanitarios	Modelo compartimental	2
			Disponibilidad de intervenciones farmacológicas	Modelo compartimental	2
			Disponibilidad de EPIs	Modelo compartimental y modelo basado en agente	2
			Apertura o adecuación de centros de tratamiento	Modelo compartimental, modelo basado en agente, <i>branching process</i>	6
		Vacunación	Estrategia de vacunación	Modelo estadístico	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Smith <i>et al.</i> , 2018 (53)	Clínicos	Características del paciente	Edad	Modelo basado en agente	ND
			Proporción de pacientes embarazadas	Modelo basado en agente	ND
		Evolución de la pandemia	Mortalidad	Modelo basado en agente	5
			Número básico de reproducción	Modelo basado en agente	3
			Probabilidad de supervivencia	Modelo basado en agente	1
			Tiempo hasta el primer episodio de malaria clínica	Modelo basado en agente	1
			Estacionalidad	Modelo basado en agente	7
			Intensidad de la transmisión	Modelo basado en agente	5
			Prevalencia de malaria clínica	Modelo basado en agente	16
		Inmunología	Inmunidad innata	Modelo basado en agente	ND
			Inmunidad maternal	Modelo basado en agente	ND
			Inmunidad adquirida	Modelo basado en agente	ND
			VIH status	Modelo basado en agente	ND
		Sintomatología	Umbral pirogénico individual	Modelo basado en agente	1
		Resultados de laboratorio	Parámetros infecciosos	Modelo basado en agente	4
			Parasitemia	Modelo basado en agente	4
			Anemia	Modelo basado en agente	2
		Vacunación	Eficacia / efectividad de la vacuna	Modelo basado en agente	4
			Vía de administración	Modelo basado en agente	1
			Cobertura vacunal	Modelo basado en agente	1
			Propiedades de la vacuna	Modelo basado en agente	2
			Cobertura del tratamiento	Modelo basado en agente	5
		Tratamiento	Tasa de búsqueda de tratamiento	Modelo basado en agente	1
			Eficacia de los fármacos	Modelo basado en agente	1
			Porcentaje de infectados tratados	Modelo basado en agente	1
			Tasa de fallo terapéutico	Modelo basado en agente	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Smith <i>et al.</i> , 2018 (53)	Clínicos	Testeo	Tipo de test diagnóstico rápido (RDT)	Modelo basado en agente	1
			Porcentaje de positividad de los RDT	Modelo basado en agente	2
			Positividad de los RDT por edad	Modelo basado en agente	1
	Gestión sanitaria	Instalaciones y servicios	Número de centros educativos	Modelo basado en agente	1
			Número de centros de salud/instalaciones sanitarias	Modelo basado en agente	2
		Vacunación	Estrategias de vacunación	Modelo basado en agente	1
		Tratamiento	Estrategias de tratamiento	Modelo basado en agente	1
			Uso de insecticidas	Modelo basado en agente	3
			Cebo de azúcar tóxico	Modelo basado en agente	3
			Eliminación del hábitat de la larva	Modelo basado en agente	1
	Otros	Entomología	Mortalidad del vector	Modelo basado en agente	ND
			Patrones de movimiento	Modelo basado en agente	ND
			Frecuencia de picadura	Modelo basado en agente	ND
			Hábitos de alimentación	Modelo basado en agente	ND
			Dinámica de la población	Modelo basado en agente	ND
			Ciclo de vida del mosquito	Modelo basado en agente	ND
		Características del parásito	Densidad del parásito	Modelo basado en agente	3
			Cepa del parásito	Modelo basado en agente	6
			PfHRP2 status	Modelo basado en agente	2

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Smith <i>et al.</i> , 2018 (53)	Otros	Costes	Diferencia de costes entre tratamientos	Modelo basado en agente	1
			Coste per cápita del tratamiento	Modelo basado en agente	1
			Coste por dosis administrada	Modelo basado en agente	1
			Coste por niño completamente inmunizado	Modelo basado en agente	1
			Costes directos	Modelo basado en agente	1
			Ganancias de productividad	Modelo basado en agente	1
			Costes por el manejo de casos	Modelo basado en agente	1
			Coste por episodio no complicado	Modelo basado en agente	1
			Coste de las intervenciones (tratamiento preventivo)	Modelo basado en agente	1
			Coste por DALY evitado	Modelo basado en agente	1
			Ratio coste-efectividad incremental	Modelo basado en agente	1
			Coste del MSAT	Modelo basado en agente	1
			Coste de las resistencias	Modelo basado en agente	1
		Climatológicos	Temperatura	Modelo basado en agente	8
			Humedad	Modelo basado en agente	4
			Datos hidrológicos y entomológicos	Modelo basado en agente	1
			Temperatura de las fuentes de agua	Modelo basado en agente	1
			Precipitaciones/lluvias	Modelo basado en agente	6
			Velocidad del viento	Modelo basado en agente	3
			Duración de estaciones húmedas compatibles con la transmisión	Modelo basado en agente	1
		Geográficos	Número de fuentes de agua	Modelo basado en agente	1
			Tipos de suelo	Modelo basado en agente	1
			Vegetación	Modelo basado en agente	1

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
Wong et al., 2017 (54)	Clínicos	Evolución de la pandemia	Número de reproducción básico	Modelado mecanístico	6
			Serial Interval	Modelado mecanístico	3
			Tasa de letalidad	Modelado mecanístico	4
		Epidemiología	Periodo de latencia	Modelado mecanístico	ND
			Periodo infeccioso	Modelado mecanístico	29
		Estados del paciente	Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-cremado (SEIRDC)	Modelado mecanístico	5
			Susceptible-expuesto-infeccioso-recuperado (SEIR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso-acumulado-hospitalizado	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-fallecido no enterrado-enterrado (SEIHFR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso(comprobado)-infeccioso (no comprobado)-tratado en centros especializados en Ébola-recuperado (SEIHHR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-recuperado (SEIHR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso-funeral-recuperado (SEIFR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infectado-fallecido contaminado- aislado infeccioso-recuperado-fallecido (SEICIIR)	Modelado mecanístico	1
			Incubación-primeros síntomas-sintomatología tardía	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-enterrado (SEIIRHF)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infectado-hospitalizado-recuperado-enterrado (SEIHCFBR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-expuesto-infeccioso (no reportado)-tratado (reportado)-fallecido (no reportado)-recuperado (reportado)-fallecido (reportado) (SEOTRDTRTD)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-fallecido-enterrado (SEIHBDR)	Modelado mecanístico	1
			Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-enterrado (SEIHP)	Modelado mecanístico	1



**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye	
Wong et al., 2017 (54)	Gestión sanitaria	Hospitalización	Compartimentación de pacientes hospitalizados	Modelado mecanístico	17	
		Defunción	Registro de fallecimientos y causas	Modelado mecanístico	16	
			Compartimentación de fallecidos	Modelado mecanístico	16	
Prieto et al., 2012 (55)	Clínicos	Evolución de la pandemia	Número de reproducción básico	ND	11	
			Número de casos infectados importados por unidad de tiempo	ND	4	
		Epidemiología	Tasa crítica de la enfermedad	ND	9	
			Historia natural de la enfermedad (perfil de infectividad, tiempo de manifestación de la enfermedad)	ND	9	
			Fracción de población infecciosa sintomática / asintomática	ND	10	
			Vacunación	Efectividad de la vacuna	ND	ND
			Vacunación	Porcentaje de población vacunada	ND	ND
	Gestión sanitaria	Medidas de control / restricción	Medidas de distanciamiento social	ND	2	
		Conductas sociales	Absentismo a clase o trabajo ante la aparición de síntomas	ND	1	
			Absentismo a trabajo por cuidado de niños enfermos o cierre de colegios	ND	4	
	Otros	Demografía	Tamaño o densidad de la población	ND	10	
			Distribución de las viviendas	ND	7	
			Distribución de las edades	ND	6	
			Distribución de los viajes casa-trabajo (distancia)	ND	3	
			Parámetros de viajes a largas distancias (duración del viaje, número de personas en el viaje, noches pasadas fuera, lugar y destino)	ND	4	
		Datos tecnológicos	Disponibilidad de datos a través de bluetooth	ND	2	
			Identificación de dispositivos de radiofrecuencia	ND	1	

**Tabla 5. Principales resultados de los indicadores para la simulación o modelado (continuación)**

Estudios Año	Tipos de indicadores	Indicadores	Variables	Tipo de modelización o simulación	Nº de estudios en los que se incluye
<b>Andraud et al., 2012 (56)</b>	<b>Clínicos</b>	Estado del paciente	Susceptible-infectado-Recuperado	Modelos deterministas	ND
		Evolución de la pandemia	Número de reproducción básico	Modelos deterministas	ND
			Ratio de transmisión	Modelos deterministas	ND
			Ratio de reclutamiento	Modelos deterministas	ND
			Ratio de oviposición	Modelos deterministas	ND
			Ratio de maduración	Modelos deterministas	ND
			Ratio de picadura	Modelos deterministas	ND
			Periodo de incubación intrínseca (EIP)	Modelos deterministas	ND
			Eficacia de la transmisión vertical	Modelos deterministas	ND
		Vacunación	Estado de inmunización	Modelos deterministas	ND
			Periodo infeccioso tras la vacunación	Modelos deterministas	ND
	<b>Gestión sanitaria</b>	Medidas de control / restricción	Uso de insecticidas y larvicidas	Modelos deterministas	ND
			Insectos portadores de alelo dominante letal	Modelos deterministas	ND
	<b>Otros</b>	Vacunación	Estrategia de vacunación	Modelos deterministas	ND
		Climatológicos	Temperatura	Modelos deterministas	ND

ND: no descrito; NA: no aplica; IA: inteligencia artificial; ML: *machine learning*, DL: *deep learning*; UCI: Unidad de Cuidados Intensivos; TAC: tomografía axial computarizada; EPI: equipo de protección individual; SEIRDC: Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-cremado; SEIR: Susceptible-expuesto-infeccioso-recuperado; SEIHFR: Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-fallecido no enterrado-enterrado; SEIHHR: Susceptible-expuesto-infeccioso(comprobado)-infeccioso (no comprobado)-tratado en centros especializados en Ébola-recuperado; SEIHR: Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-recuperado; SEIFR: Susceptible-expuesto-infeccioso-funeral-recuperado; SEICIIR: Susceptible-expuesto-infectado-fallecido contaminado- aislado infeccioso-recuperado-fallecido; SEIRHF: Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-enterrado; SEIHCFBR: Susceptible-expuesto-infectado-hospitalizado-recuperado-enterrado; SEOTRDRTRD: Susceptible-expuesto-infeccioso (no reportado)-tratado (reportado)-fallecido (no reportado)-recuperado (reportado)-fallecido (reportado); SEIHBDR: Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-fallecido-enterrado; SEIHP: Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-enterrado; VIH: virus de la inmunodeficiencia humana; RDT: test diagnóstico rápido; SIR: Susceptible-infectado-recuperado; LR: *logistic regression*; ARIMA: *Autoregressive integrated moving average*; RNN: *recurrent neural network*; LSTM: *Long Short-Term Memory*; PA: *power amplifier*; GRU: *Gated recurrent unit*; CDNN: *Convolutional deep neural network*; KNN: *k-Nearest Neighbor*; SVM: *Support vector machines*; ANN: *Artificial Neural Network*; GMDH: *Group method of data handling*

## Información recopilada de los expertos

En esta sección se recoge la información obtenida por los autores del presente informe tras la reunión mantenida con los desarrolladores del simulador *Practicum DIRECT* para la toma de decisiones en pandemias y el posterior envío de documentación adjunta por parte del grupo *eHealth*. Estos resultados están basados tanto en estudios científicos publicados (referenciados cuando corresponde) como en información adjuntada y autorizada para su uso en este informe por los desarrolladores que no ha sido, al menos hasta el momento, sometida al proceso de revisión por pares pudiendo incluir importantes sesgos (se indica esta fuente como “información no publicada” cuando corresponde).

La finalidad del simulador *Practicum DIRECT* es generar una herramienta adaptada al contexto, útil y amigable para los decisores del nivel macro, meso y micro de la organización sanitaria, que permita reducir la incertidumbre y responder, en tiempo real, a las necesidades de información y de respuesta inmediata que generan las crisis sanitarias (shock o estrés) producidas por situaciones excepcionales sobrevenidas (57). Los casos de uso para los que se contemplaba el simulador desarrollado incluían la atención urgente, la medición de resultados en salud, la formación de gestores y el análisis de *big data* (información no publicada). Para estas simulaciones incluye variables clínicas y de gestión, uso de datos masivos reales para la generación de modelos predictivos y uso de inteligencia artificial aplicada mediante la aplicación de procedimientos de estadística multivariante (57). Se realizó de manera complementaria un estudio cualitativo basado en una serie de 7 entrevistas a expertos de atención primaria (4 pertenecían al personal de enfermería de centros de atención primaria y 3 a personal médico) sobre la pandemia COVID19, cuyo objetivo es la incorporación de su perspectiva a la evidencia para el desarrollo del simulado (58).

El resultado final de este proyecto, presentado por los desarrolladores a los autores del presente informe hasta el momento, es un prototipo de simulador de toma de decisiones que incluye variables clínicas (causas de fallecimientos, número de diagnósticos de patologías asociadas a la pandemia, número de diagnósticos de patologías no asociadas a la pandemia...) y variables de gestión (urgencias atendidas, camas disponibles, intervenciones totales, número de médicos...) para la simulación de la evolución de la pandemia (información no publicada).

El prototipo de simulador presentado tiene como próximos pasos el desarrollo de una herramienta comercializable que además integre inteligencia artificial. Sin embargo, estos próximos pasos siguen pendientes de financiación pública o privada y de respaldo institucional (información no publicada).

## Resumen cuantitativo de los resultados

Esta sección aborda un resumen cuantitativo de todos los resultados extraídos, sintetizados y codificados, permitiendo una visión resumida e integradora que permita la posterior discusión de resultados y la redacción de conclusiones, últimos pasos de la metodología de análisis de contenido seguida en este informe.

Al igual que en el resto del informe se seguirá para este análisis una división de los resultados según los elementos de la pregunta SPICE (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación), incluyendo siempre que sea posible la integración de los diferentes elementos de la pregunta para el análisis.

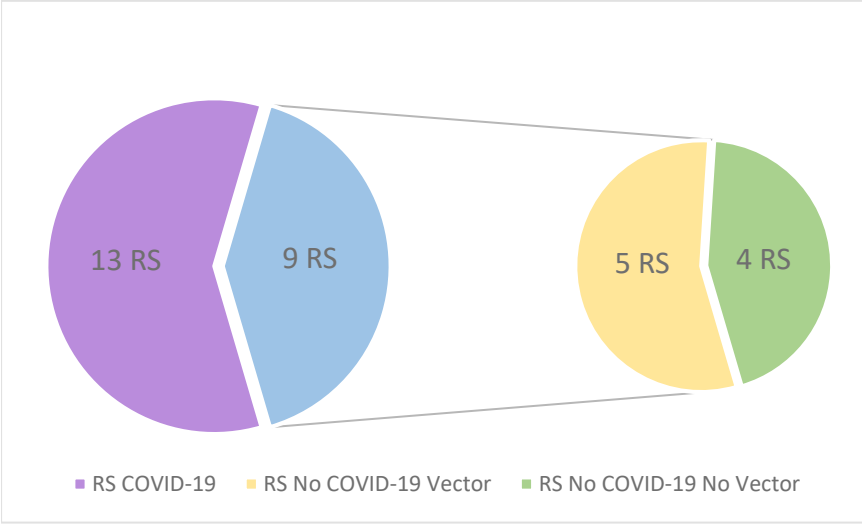
### Resumen cuantitativo de los resultados de escenario

Como ya se ha definido anteriormente, el escenario hace referencia a la pandemia, endemia o brote objeto de simulación o modelización. En la Tabla 2 se recopilan de manera cualitativa los resultados del escenario analizado. En este sentido, la irrupción de la pandemia COVID19 tiene un gran impacto en el número de RS que incluyen la simulación o el modelado de esta pandemia entre sus estudios incluidos. Concretamente, 12 de las 20 RS incluyen solamente estudios cuyo objetivo es la simulación o modelización de la progresión de la pandemia COVID19, tal y como explicitan en sus criterios de inclusión o exclusión (37,38,49,51,39,41-43,45-48). 7 de las 20 RS incluidas en este informe, abordan cada una de ellas una pandemia (3 RS sobre dengue (44,50,56), 2 ébola (52,54), 1 malaria (53) y 1 gripe común (55)). Solamente 1 de las 20 RS incluye estudios cuyo objeto de modelización o simulación son diferentes pandemias (25) (COVID19, gripe H1N1, sarampión, dengue, SARS, gripe porcina, VIH, hepatitis C o ébola). Dado el elevado número de RS cuyo objeto es el análisis de los modelos y simuladores para la pandemia COVID19, se plantea a partir de este punto el análisis desagregado del resto de resultados en COVID19 (37,38,49,51,39,41-43,45-48) y no-COVID19 (44,50,52-56), para evitar un posible sesgo por escenario. La RS que incluye tanto simuladores o modelos COVID19 como no-COVID19 (25), será objeto de análisis en ambos grupos.

Además de la división de las 20 RS incluidas en RS COVID19 y no-COVID19, las 7 RS no-COVID y la que incluía COVID y no-COVID se dividieron en enfermedades transmitidas por vector o no transmitidas por vector. Esta división se debe a que los factores implicados en la progresión de la pandemia serán diferentes, por lo tanto, los indicadores y variables necesarios para su simulación también lo serán. En este sentido de las 7 RS

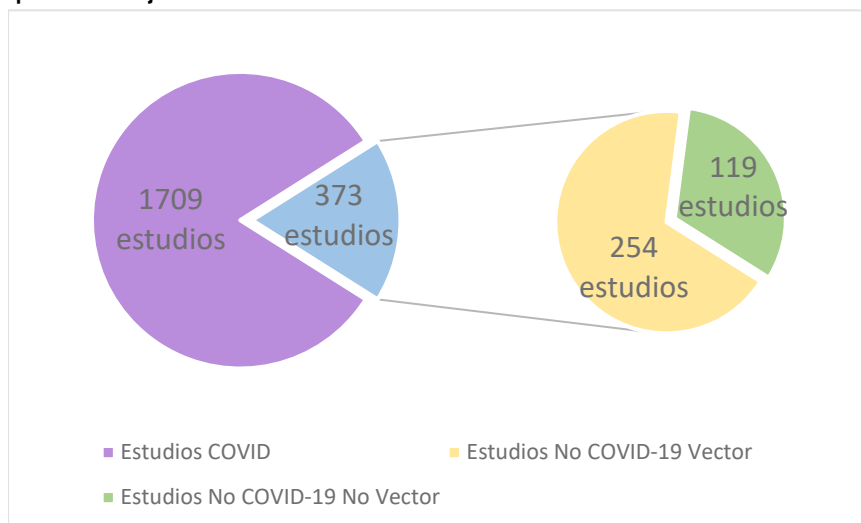
no-COVID19, 4 RS tienen como objeto analizar simuladores o modelos de pandemias transmitidas por vector (44,50,53,56) y 3 RS pandemias no transmitidas por vector (52,54,55). La RS que incluía tanto simuladores y modelos COVID19 como no-COVID19 (25), incluye igualmente tanto pandemias transmitidas por vector como sin necesidad de él, por lo que se incluye de nuevo en ambos grupos.

**Figura 4. Porcentaje de RS incluidas según la pandemia objeto de modelización o simulación**



El posible sesgo de análisis e interpretación de resultados en el que podríamos incurrir si no se realiza la división en los subgrupos planteados es aún más patente si calculamos el número de estudios incluidos en las 20 RS, cuyos objetivos son la simulación o el modelado de diferentes pandemias. En total las 20 RS incluyen 2082 estudios (siguiendo sus criterios de inclusión y exclusión, y sin tener en cuenta los estudios que pudieran estar repetidos en diferentes RS), de los cuales 1709 estudios son para la simulación o modelado de la pandemia COVID19, 254 para pandemias que necesitan un vector para la propagación de la enfermedad y 119 para pandemias que no necesitan vector para la propagación de la enfermedad.

**Figura 5. Porcentaje de los estudios primarios de las RS incluidas según la pandemia objeto de modelización o simulación**



## Resumen cuantitativo de los resultados de perspectiva

La perspectiva, como ya ha sido definida anteriormente en el presente informe, se refiere al ámbito de aplicación del modelo o de la simulación y de sus usuarios. Los resultados sobre la perspectiva objeto de modelización o simulación recogidos incluyeron: el ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario, el tipo de financiación del sistema sanitario contemplado, y la adaptabilidad del modelo o simulador a otros sistemas sanitarios o niveles asistenciales. Sin embargo, solamente se obtuvieron estos resultados en 4 de las RS incluidas (38,46,48,51) y solamente para uno de los apartados (ámbito de aplicación dentro del sistema sanitario).

Ante estos escasos resultados los autores del presente informe valoraron que no era pertinente la realización del resumen cuantitativo previsto sobre la perspectiva.

## Resumen cuantitativo de los resultados de intervención

A lo largo de este informe, la intervención se ha definido como las patologías contempladas por los modelos o simuladores, la metodología de modelización, la metodología de simulación, el posible uso de IA, ML o DL, el coste computacional y el mecanismo de validación.

Sobre las patologías contempladas por los simuladores o modelos, solamente una de las RS incluidas (42), incluía una pequeña proporción de estudios (0,27 %) cuya simulación contemplaba pacientes con patologías no directamente relacionadas con la enfermedad (patología cardíaca crónica). El resto de RS incluía simuladores o modelos que únicamente contemplaban patologías estrictamente relacionadas con la epidemia, pandemia o brote analizado.

Respecto a las metodologías de modelización y simulación aplicadas por los estudios incluidos en las RS, 11 de las 20 RS incluyen modelizaciones de evoluciones de pandemia como estudios primarios (37,39,56,41,43-45,52-55), mientras que 9 RS incluyen simulaciones (25,38,42,47-51). Se ha detectado una gran heterogeneidad en los estudios que incluyen las RS en las metodologías aplicadas tanto en la modelización como en la simulación de la evolución de las diferentes pandemias.

El uso de IA, ML o DL por parte de los estudios primarios incluidos se recoge en 9 de las 20 RS (38,39,42,46-51). De las 9 RS que incluyen estudios primarios que usan IA, ML o DL, 6 de ellas (39,47-51) incluyen exclusivamente estudios primarios que usan estas tecnologías. Es destacable que las 9 RS incluidas que recogen el uso de IA, ML o DL han sido publicadas entre 2021 y 2022, dado el reciente desarrollo e implantación de estas metodologías. Si atendemos al tipo de metodología usada, 7 de las RS incluyen estudios que usan IA (39,42,46-49,51), 6 de las RS incluyen estudios que utilizan ML (38,42,46,48,50,51) y 2 de las RS incluyen estudios que usan DL (38,46). En cuanto a las características y finalidades de su uso, las RS incluidas muestran una gran heterogeneidad: estrategias de vacunación, efectos de la pandemia sobre la economía, propósitos diagnósticos, predicción de la mortalidad, medida del impacto de las restricciones sociales en la expansión del virus, repercusión de las restricciones de movilidad en la expansión del virus, medida de depresión y ansiedad en personas afectadas con COVID19.

## Resumen cuantitativo de los resultados de indicadores y variables

Tal como se definieron en secciones previas de este informe, los indicadores son los elementos que contemplan los modelos o simuladores para representar la dinámica de la enfermedad en la población y el efecto que tienen o pueden tener sobre ella la toma de diferentes tipos de medidas. En el presente informe los indicadores se dividieron en 3 tipos: indicadores clínicos, indicadores de gestión sanitaria, y otros tipos de indicadores. Cada uno de los indicadores contemplados en los simuladores o modelos están

compuestos por una o más variables. En algunos casos, el indicador puede ser el mismo pero sus variables ser diferentes, por esta razón un mismo indicador puede ser tanto indicador clínico como de gestión dependiendo de las variables que lo compongan.

El análisis cuantitativo de los indicadores y las variables especificadas en las 20 RS incluidas se plantea de forma desagregada en 3 subgrupos:

- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de la pandemia COVID19 (37,38,49,51,39,41-43,45-48).
- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de una pandemia diferente a COVID19 dependiente de vector para su transmisión (44,50,53,56).
- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de una pandemia diferente a COVID19 no dependiente de vector para su transmisión (52,54,55) .

En el caso de la RS (25) que incluye simuladores para pandemias COVID19 y no COVID19 y dependientes o independientes de vector, sus indicadores y variables se incluyeron en los 3 subgrupos al explicitarse en esta RS la adaptabilidad de los simuladores a diferentes tipos de pandemias.

Este análisis desagregado se justifica por los diferentes tipos de variables que pueden contemplar los simuladores o modelos dependiendo de la naturaleza de la enfermedad pandémica y del mecanismo de propagación de esta, y por el alto porcentaje respecto al total de RS incluidas sobre COVID19 (60 %).

### Indicadores de RS incluidas para la simulación o modelización de la pandemia COVID19

De las 20 RS incluidas, 12 de ellas recogían exclusivamente estudios primarios de modelos o simulaciones para la pandemia COVID19 (38,39,50,52,40,42-44,46-49), lo cual representa un 60 % de las RS totales incluidas. En este apartado se analizan los indicadores para estas 12 RS y para la RS que incluye simuladores y modelos aplicables a diferentes pandemias incluyendo COVID19 (25).

Las 13 RS incluidas analizadas en este apartado incluyen indicadores clínicos y de gestión sanitaria, y además 6 de ellas incluyen otros tipos (25,38,42,43,47,49).



## Indicadores clínicos

Las 13 RS incluidas que recogían estudios primarios de modelos o simulaciones para la toma de decisiones en la pandemia COVID19 incluían indicadores clínicos. Los indicadores clínicos se definieron anteriormente en este informe como indicadores compuestos por diversas variables que permiten la recreación de escenarios clínicos durante la pandemia analizada para ayudar en la toma de decisiones.

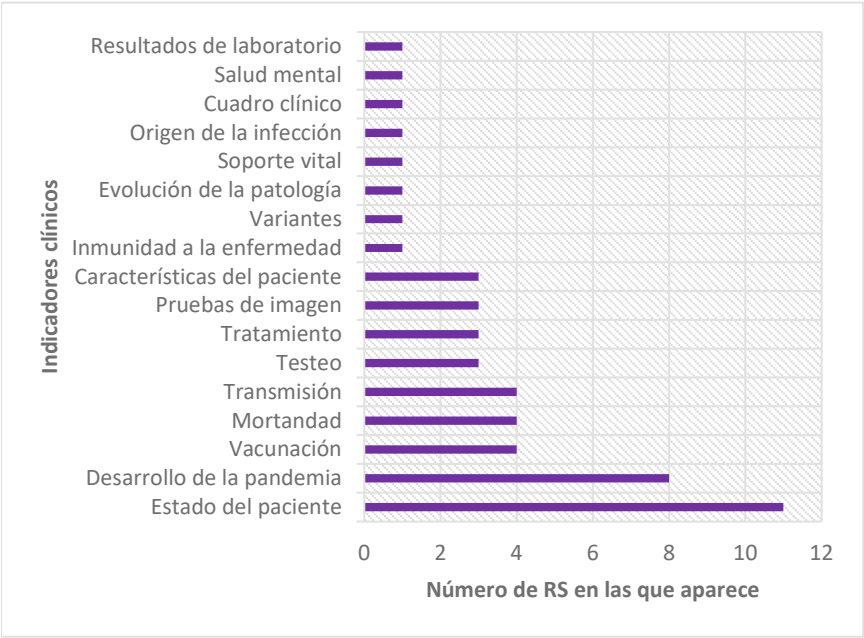
El indicador clínico más ampliamente analizado (11 de las 13 RS) es el estado de los pacientes. La evaluación del estado de los pacientes y la transición o transiciones de un estado a otro son centrales para el modelo o simulación de la pandemia COVID19. Sin embargo, existe una gran heterogeneidad entre las variables que definen los estados del paciente contemplados por los diferentes simuladores. Igualmente, también existe una alta heterogeneidad para el tipo de modelado o simulación usado para este indicador.

Los siguientes indicadores según su frecuencia en los simuladores o modelados de las RS incluidas son la evolución de la pandemia, la vacunación, la mortandad y la transmisión. El indicador clínico evolución de la pandemia se define por variables de los casos diarios confirmados y los casos de fallecimientos. El indicador clínico de vacunación alude a características específicas de la vacuna como la eficacia de la misma y la reducción de la mortalidad en diferentes grupos, este indicador aparece en todas las RS publicadas a partir del 2022 cuando se comienzan a implementar los planes de vacunación. La transmisión incluye en sus variables los valores de expansión de cualquier pandemia, principalmente número de reproducción básico ( $R_0$ ) y número de reproducción efectivo.

El tercer grupo de indicadores por frecuencia de aparición en los simuladores y modelos de las RS incluidas son el testeo, el tratamiento, las pruebas de imagen y las características previas del paciente. El indicador clínico de testeo alude principalmente a la sensibilidad y especificidad de los tests utilizados para el diagnóstico de la enfermedad. El indicador clínico de tratamiento hace referencia a la eficacia que tienen sobre población ya infectada y con diagnóstico confirmado los diferentes tratamientos. El indicador prueba de imagen hace referencia al uso de pruebas de imagen para la confirmación del diagnóstico mediante el uso o no de IA para su interpretación. Las características del paciente previas a la infección con la patología son también tenidas en cuenta, dada la diferente progresión y gravedad que pueden presentar los infectados según estas características. El cuarto grupo de indicadores son únicamente reflejados en una de las RS incluidas: inmunidad de la población a la enfermedad, variantes del virus presente, evolución de la patología en el infectado, soporte vital requerido por los infectados, origen de

la infección, cuadro clínico inicial de los infectados, estado de salud mental de los infectados y resultados de laboratorio de los infectados. Su menor presencia en las RS incluidas, puede no deberse a una menor influencia sobre la correcta simulación o modelado de la pandemia, si no por su complejidad para usarlos como indicadores de una manera homogénea.

**Figura 6. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas**



### Indicadores de salud pública y gestión sanitaria

Las 13 RS incluidas que recogían estudios primarios de modelos o simulaciones para la toma de decisiones en la pandemia COVID19 incluían indicadores de gestión o salud pública. Los indicadores de gestión se definieron anteriormente en este informe como indicadores compuestos por diversas variables que permiten la recreación del efecto sobre la pandemia de la gestión de las intervenciones farmacológicas y no farmacológicas en el entorno sanitario y no sanitario.

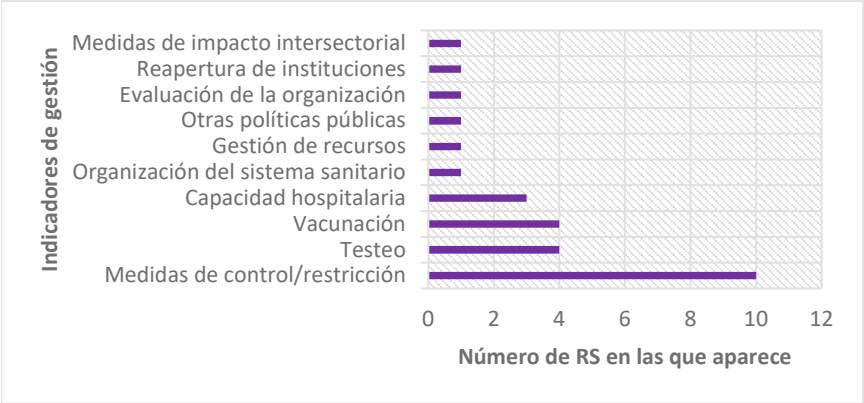
El indicador de salud pública y sanitaria sanitaria presente con una mayor frecuencia en los simuladores o modelos de las RS incluidas son las medidas de control y restricción aplicada en las poblaciones con incidencia de COVID19. Las medidas recogidas como variables para este indicador son muy diversa y además incluyen a diferentes grupos según el simulador o modelo (solamente infectados, contactos de infectados, toda la población,

población de alto riesgo...). Entre las medidas destacan: medidas de higiene, de restricción de la movilidad (cuarentena, aislamiento, confinamiento, distanciamiento social o cancelación de vuelos u otro tipo de desplazamientos) o el uso de mascarillas u otros EPIs.

El segundo grupo de indicadores por frecuencia de aparición en las 13 RS incluidas objeto de este análisis, son el testeo, la vacunación y la capacidad hospitalaria. El testeo como indicador de gestión incluye variables referentes a los planes de testeo masivo o con poblaciones diana y a la disponibilidad de tests. La vacunación como indicador de gestión incluye variables referentes a la creación de planes de vacunación de la población contemplando el diferente grado de riesgo de las poblaciones. La capacidad hospitalaria incluye variables referidas tanto al personal (necesidad de ampliación de personal, planes formativos del personal específicos para el manejo de la pandemia y división del personal en equipos de trabajo) como a las instalaciones y a los recursos materiales (disponibilidad de EPIs y test para los sanitarios, posible división de las instalaciones para el tratamiento de pacientes COVID19 y no COVID19 de manera separada).

El resto de los indicadores de gestión aparecían solamente en una de las RS incluidas: organización del sistema sanitario, gestión de recursos en el sector sanitario, otras s públicas, evaluación del trabajo de la organización, reapertura de instituciones y medidas de impacto intersectorial. Su menor presencia en las RS incluidas, puede no deberse a una menor influencia sobre la correcta simulación o modelado de la pandemia, si no por su complejidad para usarlos como indicadores de una manera homogénea.

**Figura 7. Indicadores de salud pública y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas**



### Otros indicadores

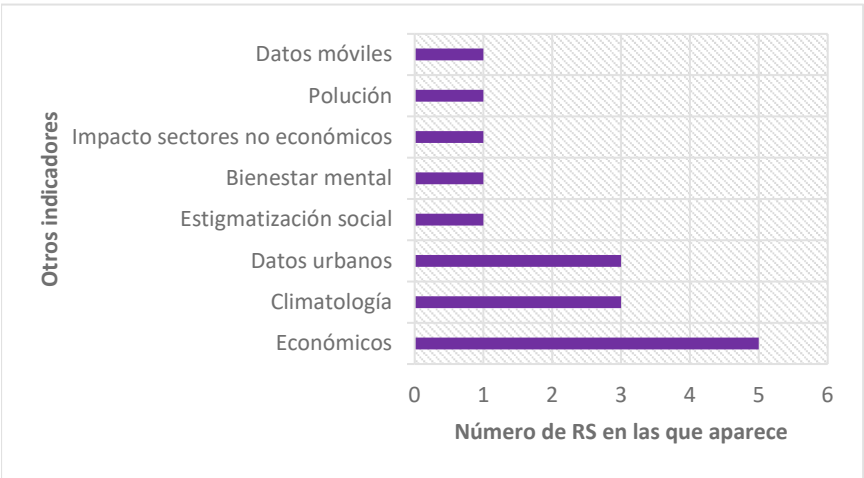
Las 13 RS analizadas en este apartado incluyen indicadores clínicos y de gestión sanitaria, y además 6 de ellas incluyen otros tipos (26,39,43,44,48,50). Este tipo de indicadores aglutina indicadores no clínicos ni de gestión que influyan sobre la dinámica de la pandemia, como indicadores sociales o climáticos.

El indicador contemplado con una mayor frecuencia de este tipo dentro de los simuladores o modelos de las RS incluidas es la economía. Las variables asociadas a este indicador se relacionan tanto como con valores macro como microeconómicos, presentando una amplia heterogeneidad entre los simuladores y modelos estudiados.

El segundo grupo de indicadores que presentan una mayor frecuencia dentro de los simuladores o modelos de las RS incluidas son los datos urbanos y la climatología. Los datos urbanos recogen un amplio número de variables diferentes que se relacionan con la localización del entorno y su planificación urbanística, siendo la principal variable la densidad de población. La climatología contiene variables relacionadas principalmente con la temperatura ambiental y las precipitaciones las cuales pueden afectar la evolución de la pandemia tanto por cómo afecten al virus como por cómo afecten a las conductas sociales.

El resto de los indicadores de este grupo se han detectado únicamente en una de las RS incluidas: estigmatización social, bienestar mental, impacto en otros sectores no económicos, niveles de polución y análisis de datos móviles y redes sociales.

**Figura 8. Otros indicadores (no clínicos ni de gestión) y su frecuencia de aparición en las RS de COVID19 incluidas**



## Indicadores de RS incluidas para la simulación o modelización de pandemias no COVID19 dependientes de vector

Además de la división de las 20 RS incluidas en RS COVID19 y no-COVID19, las 7 RS no-COVID y la que incluía COVID y no-COVID se dividieron en enfermedades transmitidas por vector o no transmitidas por vector. Esta división se debe a que los factores implicados en la progresión de la pandemia serán diferentes, por lo tanto, los indicadores y variables necesarios para su simulación o modelado también lo serán. En este sentido de las 7 RS no-COVID19, 4 RS tienen como objeto analizar simuladores o modelos de pandemias transmitidas por vector (45,51,54,57) y 3 RS pandemias no transmitidas por vector (53,55,56). La RS que incluía tanto simuladores y modelos COVID19 como no-COVID19 (26), incluye igualmente pandemias transmitidas por vector y pandemias que no necesitan vector para su transmisión.

En este apartado se analizan los indicadores para las 4 RS tienen como objeto analizar simuladores o modelos de pandemias transmitidas por vector (45,51,54,57) y para la RS que incluye simuladores y modelos aplicables a diferentes pandemias dependientes o independientes de vector (25). Las 5 RS incluyen indicadores clínicos, de gestión sanitaria, y otros tipos. Es destacable que en este apartado se incluyen RS cuyos simuladores o modelos específicos para pandemias diferentes, lo cual puede generar un sesgo en el presente análisis por frecuencias. En concreto, 3 de las RS incluyen solamente simuladores o modelos para dengue (44,50,56), 1 para malaria (53) y otra para cualquier tipo de pandemia (26). Este posible sesgo se intenta solventar en este análisis mediante la inclusión de las referencias de las RS en las que aparecen los indicadores.

### Indicadores clínicos

Como se definió anteriormente en este informe, los indicadores clínicos son aquellos indicadores que contemplan la evolución clínica de la enfermedad epidémica en la población y las variables clínicas de las intervenciones farmacológicas. Estos indicadores se componen de unas o más variables.

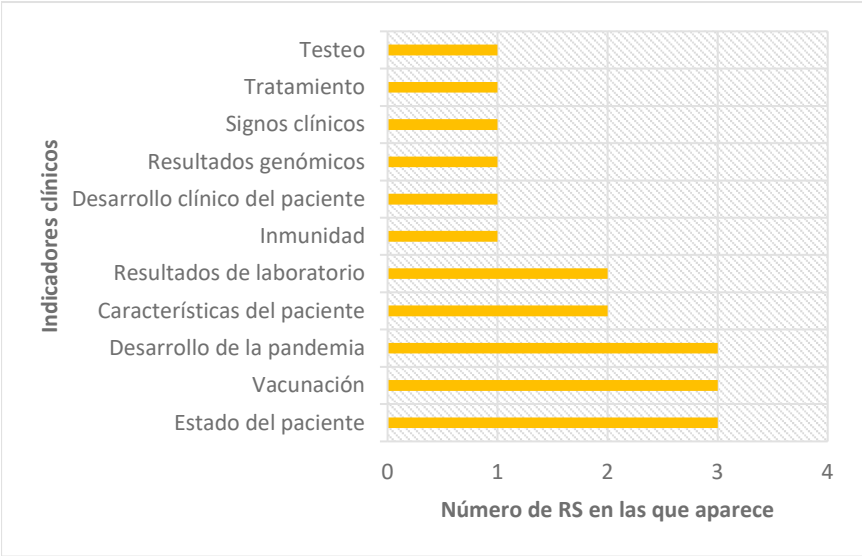
Los indicadores clínicos presentes con una mayor frecuencia en los simuladores o modelos de las RS incluidas son: los estados del paciente, la vacunación y la evolución de la pandemia. La evaluación del estado de los pacientes y la transición o transiciones de un estado a otro son centrales para el modelo o simulación de las pandemias dependientes de vector. Sin embargo, existe una gran heterogeneidad entre las variables que definen los estados del paciente contemplados por los diferentes simuladores. Los principales estados de los pacientes contemplados por los modelos o simuladores han sido: susceptible – infectado - recuperado (SIR) y susceptible - paciente de dengue - paciente de dengue severo. El indicador clínico de vacunación alude a

características específicas de la vacuna y a sus efectos clínicos en la población vacunada, como eficacia de la vacuna y la transmisibilidad e inmunidad ante la enfermedad tras la vacunación. El indicador clínico evolución de la pandemia se define por variables de los casos diarios confirmados, los casos de fallecimientos, la ratio de picaduras, la eficacia de transmisión vertical y la ratio de ovoposición.

El segundo grupo de indicadores clínicos según su frecuencia en los simuladores o modelos de las RS incluidas son: las características previas del paciente y los resultados de laboratorio. Las características de los pacientes, previas a la infección, incluyen como variables la edad de los pacientes y la posibilidad de que las mujeres infectadas estuvieran embarazadas. El indicador de resultados de laboratorio incluye un amplio abanico de variables, como los niveles de plaquetas, leucocitos, hematocritos, albumina o transaminasas, en el caso de la RS incluida que tiene como objeto los simuladores o modelos de dengue (50), o la anemia, parasitemia y parámetros infecciosos en la RS incluida que tiene como objeto los simuladores o modelos de malaria (53).

El último grupo de indicadores clínicos según su frecuencia incluye 4 indicadores: inmunidad no relacionada con la vacunación, desarrollo clínico del paciente, resultados genómicos, signos clínicos y testeo.

**Figura 9. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector**



**Indicadores de salud pública y gestión sanitaria**

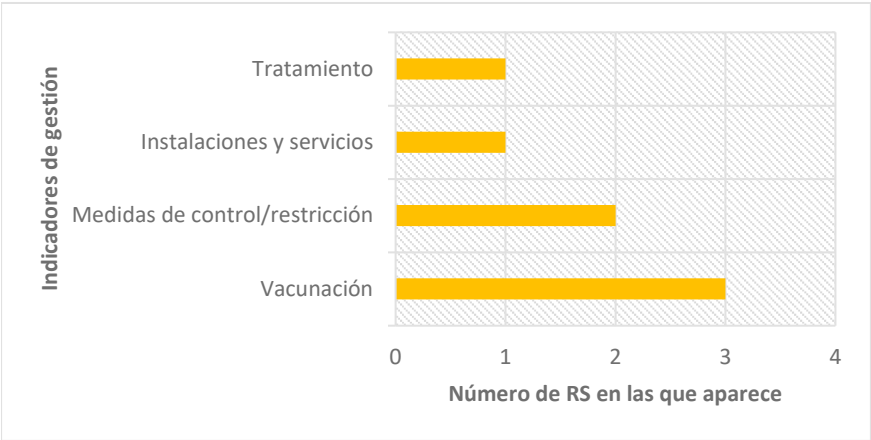
Los indicadores de gestión se definieron anteriormente en este informe como indicadores compuestos por diversas variables que permiten la recreación del efecto sobre la pandemia de la gestión de las medidas e intervenciones farmacológicas y no farmacológicas en el entorno sanitario y no sanitario.

El indicador con una mayor frecuencia en los simuladores o modelos de las 5 RS incluidas para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector es la vacunación. Este indicador recoge a nivel de gestión hospitalaria y salud pública es la cobertura vacunal y las estrategias de vacunación. Este indicador se recoge tanto para RS que incluyen estudios cuyo objetivo era la simulación o modelado del dengue como para las de malaria.

El segundo indicador de gestión según su frecuencia en las RS incluidas para el modelado o simulación para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector son las medidas de control y restricción. Estas medidas de control y transmisión incluyen variables de control de la movilidad de los infectados y de control del vector (uso de insecticidas y larvicidas y rastreo de insectos portadores).

El tercer grupo de indicadores de gestión según su frecuencia en las RS incluidas para el modelado o simulación para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector son las instalaciones y servicios (para el diagnóstico y el tratamiento, tanto la existencia de unidades específicas como refuerzo en el resto de unidades) y el tratamiento (a nivel de acceso a la población).

**Figura 10. Indicadores de gestión sanitaria y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector**



## Otros indicadores

Este tipo de indicadores aglutina indicadores no clínicos ni de gestión que influyan sobre la dinámica de la pandemia, como indicadores sociales o climáticos.

El indicador no clínico ni de gestión presente con una mayor frecuencia en los simuladores o modelos de las 5 RS incluidas para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector es la climatología. Este indicador aparece en todas las RS incluidas. En todos los casos se recoge la temperatura como una variable de este indicador, en algunas de las RS se incluyen más variables como la humedad, las precipitaciones, la velocidad del viento o la duración de las estaciones húmedas compatibles con la transmisión.

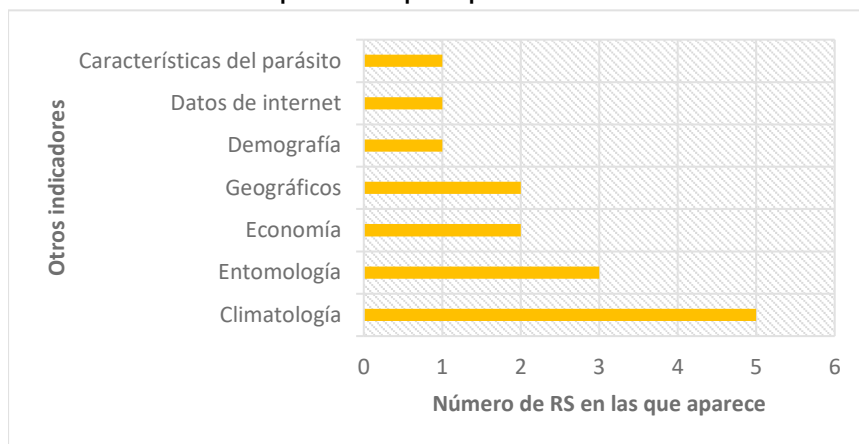
El segundo indicador ni clínico ni de gestión según su frecuencia en las RS incluidas para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector es la entomología (características del vector, en estos casos insectos, que influyen en la simulación o modelado de la pandemia). Las variables que conforman este indicador son muy heterogéneas en las RS incluidas: el índice casa, el índice de Breteau, índice de contenedores, tasa de predación, índice de adulto, mortalidad del vector, patrones de movimiento, frecuencia de picadura, hábitos de alimentación, dinámica de la población o ciclo de vida del mosquito.

Por frecuencia de aparición en las RS incluidas para pandemias no COVID19 y con transmisión por vector, los siguientes indicadores son económicos y geográficos. Los indicadores económicos para el modelado o simulación de este tipo de pandemias incluyen variables de costes (costes per cápita de la pandemia, costes por episodio o costes por el manejo de casos). Los indicadores geográficos incluyen principalmente variables que pueden afectar a la presencia y reproducción del vector, como el número de fuentes de agua, el tipo de suelo o la vegetación de la zona.

Indicadores ni clínicos ni de gestión con una menor frecuencia para el simulado o el modelado según las RS incluidas son la demografía de la zona afectada por la pandemia (50), el análisis de los datos de internet (50) y las características del parásito ( cepa del parásito o densidad del parásito en el vector) (53).



**Figura 11. Otros indicadores (no clínicos ni de gestión) y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias que requieren vector**



### Indicadores de RS incluidas para la simulación o modelización de pandemias no COVID19 no dependientes de vector

Siguiendo la metodología planteada anteriormente, a continuación se muestra el resumen cuantitativo de los indicadores de las 3 RS incluidas cuyos estudios modelan o simulan pandemias no COVID19 y no transmitidas por vector (52,54,55). De estas 3 RS, 2 de ellas incluyen modelos o simuladores para pandemias de ébola (52,54) y 1 de ellas para gripe estacional (55). La RS que incluía tanto simuladores y modelos COVID19 como no-COVID19 (25), incluye igualmente tanto pandemias transmitidas por vector como sin necesidad de él, por lo que se incluye también en este apartado.

### Indicadores clínicos

Como se definió anteriormente en este informe, los indicadores clínicos son aquellos indicadores que contemplan la evolución clínica de la enfermedad epidémica en la población y las variables clínicas de las intervenciones farmacológicas. Estos indicadores se componen de unas o más variables.

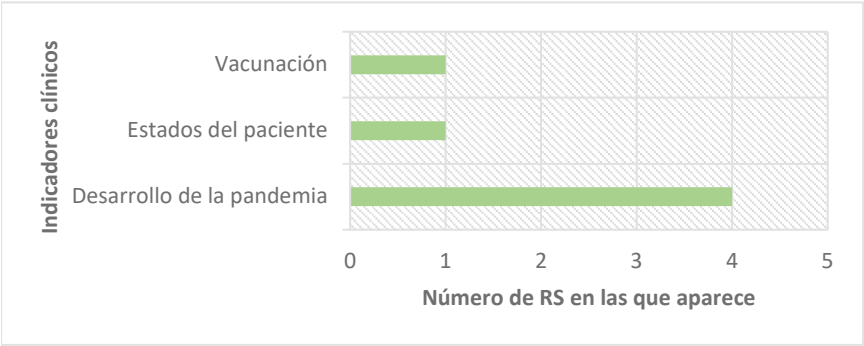
El indicador que se recoge con una mayor frecuencia en las RS de ébola y gripe estacional incluidas, en concreto se incluye en las 4 RS incluidas es la evolución de la pandemia. Las variables para evaluar la evolución de la pandemia se relacionan con la transmisibilidad del virus y su desarrollo en el huésped y presentan variables similares en las 4 RS (número de reproducción básico, número de reproducción efectivo, casos confirmados, casos probables, número total de casos, tasa de letalidad o número de casos importados por unidad de tiempo).

Los siguientes indicadores según su frecuencia de inclusión en las RS recogidas para simuladores o modelos de ébola o gripe estacional son: la vacunación y los estados del paciente. El indicador clínico vacunación incluye en las 4 RS analizadas para este tipo de pandemias la efectividad de la vacuna ante el virus. Las variables del estado del paciente son muy heterogéneas en los modelos o simuladores incluidos en la RS (54):

- Susceptible-expuesto-infeccioso-recuperado (SEIR).
- Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-cremado (SEIRDC).
- Susceptible-expuesto-infeccioso-acumulado-hospitalizado.
- Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-fallecido no enterrado-enterrado (SEIHFR).
- Susceptible-expuesto-infeccioso(comprobado)-infeccioso (no comprobado)-tratado en centros especializados en Ébola-recuperado (SEIIHHR).
- Susceptible-expuesto-infeccioso-hospitalizado-recuperado (SEIHR).
- Susceptible-expuesto-infeccioso-funeral-recuperado (SEIFR).
- Susceptible-expuesto-infectado-fallecido contaminado- aislado infeccioso-recuperado-fallecido (SEICIIR).
- Incubación-primeros síntomas-sintomatología tardía.
- Susceptible-expuesto-sintomático-recuperado-fallecido-enterrado (SEIIRHF).
- Susceptible-expuesto-infectado-hospitalizado-recuperado-enterrado (SEIHFCFBR).
- Susceptible-expuesto-infeccioso (no reportado)-tratado (reportado)-fallecido (no reportado)-recuperado (reportado)-fallecido (reportado) (SEOTRDTRTD).
- Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-fallecido-enterrado (SEIHBDR).
- Susceptible-latente-infeccioso-hospitalizado-enterrado (SEIHP).

Aunque si se consultan los estudios incluidos en las RS, es la primera de las variables (SEIR) los estados que contemplan un mayor número de modelos o simuladores.

**Figura 12. Indicadores clínicos y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias no COVID19 y que no requieren vector**



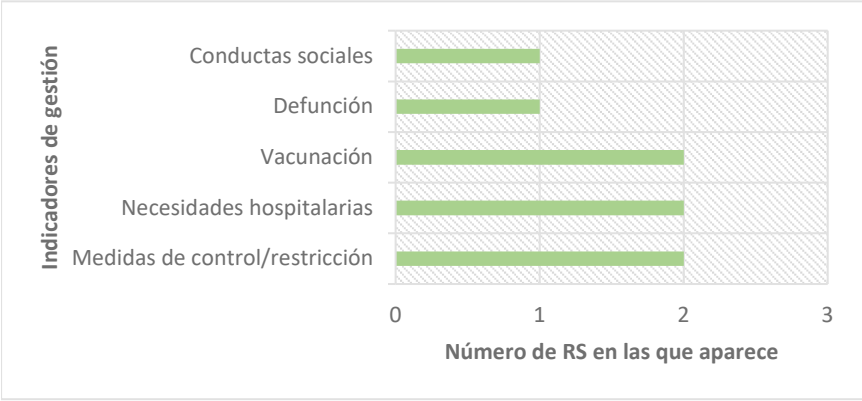
**Indicadores de salud pública**

Los indicadores de salud pública y de gestión se definieron anteriormente en este informe como indicadores compuestos por diversas variables que permiten la recreación del efecto sobre la pandemia de la gestión de las intervenciones farmacológicas y no farmacológicas en el entorno sanitario y no sanitario.

Los indicadores de gestión presentes con una mayor frecuencia en los simuladores o modelos de las 4 RS incluidas para pandemias no COVID19 y sin necesidad de vector para su transmisión, son: medidas de control y restricción, necesidades hospitalarias y vacunación. Las medidas de control y restricción incluyen principalmente medidas de distanciamiento social, rastreo de contactos, aislamiento de casos e higiene. El indicador de necesidades hospitalarias incluye el aumento de instalaciones para el diagnóstico, la vacunación y el tratamiento. El indicador de vacunación incluye en todos los casos la variable de la estrategia de vacunación.

Existen otros 2 indicadores de gestión que aparecen en al menos 1 de las RS incluidas para pandemias no COVID19 y sin necesidad de vector, son: el registro y la compartición de defunciones y los cambios en las conductas sociales.

**Figura 13. Indicadores de gestión sanitaria y su frecuencia de aparición en las RS incluidas sobre pandemias no COVID19 y que no requieren vector**



### Otros indicadores

Este tipo de indicadores aglutina indicadores no clínicos ni de gestión que influyan sobre la dinámica de la pandemia, como indicadores sociales o climáticos.

El único indicador no clínico ni de gestión presente en los simuladores o modelos de las 4 RS incluidas para pandemias no COVID19 y sin necesidad de vector para su transmisión, es el uso de datos tecnológicos. Este indicador aparece en la RS que incluye simuladores o modelos para gripe estacional (55), e incluye como variables el uso de datos a través de bluetooth e identificación de dispositivos por radiofrecuencia.

# Discusión

Los avances computacionales de las últimas décadas y la reciente pandemia mundial COVID19 (6) han posibilitado y puesto de relieve la necesidad del desarrollo y aplicación de simuladores en la toma de decisiones en situaciones que puedan tensionar los sistemas sanitarios. Este tensionamiento puede deberse a diversas circunstancias excepcionales sobrevenidas que aumentan de gran manera el potencial número de muertes en una población, y que en general se denominan catástrofes (1). Organismos internacionales como la OMS han elaborado recomendaciones, como las recogidas en el *European Programme of Work 2020-2025* (8), para hacer frente a los desafíos que pueden suponer las próximas catástrofes aprendiendo de las anteriores y centrándose en la transformación de la salud pública, la cobertura sanitaria universal, la protección frente a emergencias sanitarias y la mejora de la salud y el bienestar. Dentro de los diversos tipos de catástrofes existentes, el presente informe se ha centrado en brotes de enfermedades, epidemias y pandemias. En el *Anexo 1* se incluye un listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XXI, las cuales han sido tenidas en cuenta en este informe y de las que se debe aprender según los organismos internacionales.

Las recomendaciones de la OMS (8) y las necesidades de nuevos abordajes de las catástrofes y las pandemias surgen dentro de un contexto de uso asentado de los **modelos matemáticos** para la dinámica de una enfermedad, y un uso emergente de la simulación. La **simulación** implica la implementación de sistemas de modelización en un entorno informático para simular la propagación de la enfermedad y evaluar intervenciones a lo largo de un tiempo determinado (9). Las simulaciones pueden tener diferentes finalidades, en concreto este informe se analiza su uso para la toma de decisiones en brotes de enfermedades, epidemias o pandemias.

Con el objetivo de identificar los indicadores aplicables a las metodologías de modelización y simulación para la toma de decisiones en brotes de enfermedades, epidemias y pandemias, se planteó una pregunta en formato SPICE (escenario, perspectiva, intervención, comparador y evaluación) (32), sin comparador: *¿Cuáles son los indicadores de perspectiva clínica y de gestión utilizados en modelización o simulación para la toma de decisiones dentro de la perspectiva del sistema sanitario en un escenario de brote de una enfermedad, pandemia o epidemia?* Para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada se realizó una búsqueda en la literatura en bases de datos referenciales y específicas, se siguió la metodología PRISMA (33) de selección de estudios por pares cegados, gracias a la utilización del *software* Covidence®, y la metodología de análisis de

contenido para la extracción y síntesis de los resultados. El análisis de contenido es un método de investigación para interpretar y cuantificar datos textuales, su singularidad radica principalmente en su capacidad para convertir datos textuales cualitativos en datos cuantitativos, que luego pueden examinarse sistemáticamente (35).

Gracias a este procedimiento se incluyeron en este informe, tras la búsqueda y la selección por pares, 20 RS que incluían como estudios primarios simuladores o modelos matemáticos para la toma de decisiones en diferentes brotes de enfermedades, epidemias o pandemias. Los autores del presente informe consideraron este número de RS suficientes para responder a la pregunta de investigación planteada por lo que no se realizaron búsquedas complementarias de estudios primarios. Sin embargo, la calidad que presentaron las RS incluidas al ser evaluadas con la herramienta AMSTAR2 fue entre moderada y críticamente baja, sin que ninguna de ellas obtuviera la máxima calificación de calidad alta. A pesar de ello, ninguna RS fue excluida por motivos de calidad.

Una vez seleccionadas y evaluada la calidad de las RS incluidas, se extrajo información descriptiva de estas RS, siguiendo la estructura de la tabla descriptiva para este tipo de estudios Tabla 1. *Descripción de los estudios incluidos*. Es destacable de esta tabla que el dominio de evaluación de la calidad de los estudios incluidos aparece como No descrito (ND) en muchas de las RS, a pesar de que existe una herramienta específica para la evaluación de simuladores, PROBAST (40). Esta herramienta se utiliza solamente en una de las RS incluidas (37), y otra de las RS incluidas (38) llega a generar su propio sistema de preguntas para evaluar la calidad de los simuladores que incluye, con el consiguiente sesgo que esto puede suponer. Esta falta de aplicación puede deberse a desconocimiento por parte de los autores de las RS o a que la herramienta PROBAST (40) se publicó en 2019 y algunas de las RS incluidas son anteriores a este año.

Tras estos pasos, se prosiguió con la metodología de análisis de contenido para la extracción y síntesis de los resultados (35). Se realizó una extracción cualitativa de todas las RS incluidas siguiendo la estructura SPICE de la pregunta de investigación (32), y posteriormente estos datos cualitativos se convirtieron en datos cuantitativos siguiendo la misma estructura.

En cuanto al escenario objeto de modelización, no es llamativo que

12 de las 20 RS incluyan solamente estudios cuyo objetivo es la simulación o modelización de la progresión de la pandemia COVID19, tal y como explicitan en sus criterios de inclusión o exclusión (37,38,49,51,39,41-43,45-48). La prevalencia de la pandemia COVID19 como escenario de simulación o modelado no es sorprendente dado el gran tensionamiento que sufrieron sistemas sanitarios de todo el mundo por esta pandemia, y que el año en el que se declaró la pandemia COVID19, 2020, ya existía una capacidad de cómputo que permitía el modelado o la simulación en situaciones de pandemia (60).

7 de las 20 RS incluidas en este informe, abordan cada una de ellas una pandemia (3 RS sobre dengue (44,50,56), 2 ébola (52,54), 1 malaria (53) y 1 gripe común (55)). Solamente 1 de las 20 RS incluye estudios cuyo objeto de modelización o simulación son diferentes pandemias (25) (COVID19, gripe H1N1, sarampión, dengue, SARS, gripe porcina, VIH, hepatitis C o ébola). El hecho de que solamente 1 RS incluya simuladores o modelos para diferentes pandemias refleja el reciente desarrollo y aplicación de estas tecnologías, la novedad de investigaciones como la que se realiza en este informe y la complejidad de análisis integrativos para diferentes tipos de pandemias y el desarrollo de simuladores o modelos adaptables (61).

En cuanto a la perspectiva, la información que se quería recopilar era el ámbito de aplicación del simulador o modelo dentro del sistema sanitario, el tipo de financiación del sistema sanitario contemplado y la posibilidad de adaptación de los modelos o simuladores a otros sistemas. Sin embargo, solamente aparecían datos sobre el ámbito de aplicación (no se recogía nada sobre financiación o posibilidad de adaptación) y esta información solamente aparecía en 4 de las 20 RS incluidas (37,45,47,50). El ámbito de aplicación para el que se desarrolla la simulación o modelo es esencial para identificar a los usuarios que podrán apoyar su toma de decisiones en los resultados obtenidos. Igualmente, el factor del tipo de financiación del sistema simulado puede influir sobre la simulación o modelización en diversos indicadores como la accesibilidad al sistema o aspectos económicos (62). Al haber sido posible recopilar estos datos solamente en 4 RS, no se ha realizado un análisis cuantitativo de estos resultados ni se puede en esta discusión enlazar estos resultados con los obtenidos para los otros elementos de la pregunta SPICE.

En cuanto a la **intervención**, es destacable la amplia variedad de metodologías de modelos matemáticos y simulación usadas en los modelos o simuladores que se incluyen en las RS. Algunos de estos modelos son diferentes, a pesar de que la pandemia analizada y el indicador sea el mismo. Esta heterogeneidad puede deberse a una diferente finalidad en la simulación, si bien puede generar resultados que entren en conflicto y dificulten la toma de decisiones, objetivo final para el que se pretende su uso. Por ello, se considera esencial una mayor justificación del uso de cada uno de los modelos frente a otros, y el uso de los mismos mecanismos de validación y las mismas herramientas de evaluación.

El uso o no de tecnologías recientes como **IA, ML o DL** en los simulaciones y modelos en estudios, también se recogió en la intervención. De las 20 RS incluidas en este informe la primera de ellas que explicita la inclusión de estudios que basan su simulación o modelización en estas tecnologías se publicó en el año 2021 (39). Confirma así el reciente uso de estos avances en la simulación o modelado para la toma de decisiones, tal y como era esperable a partir de los resultados obtenidos en el apartado *Evolución de la visibilidad de los términos en la literatura científica* que

aparece en la *Introducción* de este informe. En ese mismo apartado de la *Introducción* se puede ver qué los términos modelización/modelo aparecen con una mayor visibilidad en la literatura científica publicada, este mayor uso de la modelización y reciente aparición de la simulación aparece también al estudiar las 20 RS incluidas, de las cuales 11 incluyen como estudios primarios modelos (37,39,56,41,43-45,52-55) y 9 simulaciones (25,38,42,47-51).

Para finalizar, se analizaron primero de manera cualitativa y después cuantitativa los indicadores (elementos que contemplan los modelos o simuladores para representar la dinámica de la enfermedad en la población y el efecto que tienen o pueden tener sobre ella la toma de diferentes tipos de medidas). El análisis cuantitativo se realizó de manera desagregada en 3 grupos:

- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de la pandemia COVID19 (37,38,49,51,39,41-43,45-48).
- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de una pandemia diferente a COVID19 dependiente de vector para su transmisión (44,50,53,56).
- Indicadores de RS cuyo objetivo es la simulación o modelización de una pandemia diferente a COVID19 no dependiente de vector para su transmisión (52,54,55) .

Esta división se debió, en primer lugar, al gran número de RS cuyo objetivo es el análisis de la pandemia COVID19, lo cual podría desvirtuar la importancia de determinados indicadores. En segundo lugar, la división entre aquellas pandemias que necesitan vector para su expansión y las que no lo necesitan se justifica por las grandes diferencias a nivel de indicadores que se podrían detectar.

En cuanto a los indicadores clínicos, los principales indicadores clínicos, según su frecuencia de aparición en las RS incluidas en este informe, son independientemente de los 3 grupos: la evolución de la pandemia y los estados de transición de los pacientes. Mientras que las variables para los indicadores de evolución de la pandemia, como el número de reproducción básico o el número de reproducción efectivo, se repiten en muchas de las RS incluidas, las variables del indicador estado de transición de los pacientes tienen una gran variabilidad. Si bien hay estados del paciente, como fallecido, que sí son recogidos por la mayoría de las transiciones de los estados, otros estados no se contemplan en todas o no se definen de la misma manera (sano o susceptible; enfermo, aislado, infectado o infeccioso; enterrado o cremado). En algunos casos, como por ejemplo los modelos o simuladores para el virus del ébola, es necesaria la distinción entre enterrado o cremado por la posibilidad de transmisión del virus por los cadáveres. En cambio, en algunos



casos en los que la pandemia es la misma las definiciones entre sano y susceptible no son las mismas en diferentes simuladores o modelos lo que puede llevar a confusión y dificultar la correcta toma de decisiones. Al igual que puede ser interesante la división entre enfermos infectados o infecciosos, si no se contemplan y definen de la misma manera en los diferentes simuladores para una misma pandemia los resultados pueden ser diferentes.

Existen indicadores clínicos, que si bien son contemplados con una menor frecuencia en las RS incluidas a los autores de este informe les gustaría destacarlos dado su reciente inclusión y la literatura complementaria encontrada respecto a ellos. Uno de estos indicadores es el rastreo de variantes del patógeno causante de la pandemia, ya que estas variaciones pueden afectar en una medida importante sobre el resto de los indicadores para la toma de decisión (63). En los casos de pandemias que requieren para su transmisión un vector, también se han detectado RS que incluyen el estudio de sus variantes como indicador para la simulación. Otro indicador clínico cuya importancia y concienciación social ha aumentado en los últimos años es la salud mental (64). La salud mental de las poblaciones que sufren el brote de una enfermedad, una pandemia o una epidemia puede afectar a un gran número de indicadores, principalmente a la adherencia de las medidas de restricciones sociales que se tengan que llevar a cabo, pero también pueden tener un impacto sobre la salud de las poblaciones susceptibles o aumentar los casos de suicidio o sus tentativas. Este impacto puede extenderse más allá del tiempo en el que se acote la pandemia, y puede tener diferentes efectos sobre las poblaciones (estrés, ansiedad, agorafobia...) (65).

En los indicadores de gestión sanitaria, es el tipo de indicadores en los que aparece una mayor divergencia entre pandemias que necesitan un vector para su expansión y aquellas que no los necesitan. Esto se debe a que uno de los principales indicadores de gestión son las medidas de restricción y control, y las variables de estas medidas depende mucho de si la transmisión es persona-persona (serán necesarias medidas de distanciamiento social, contemplándose casos de restricción de viajes, aislamiento y cuarentena) (66) o si es persona-vector-persona (serán necesarias medidas de control del vector y aplicación de repelentes del vector que dificulten la transmisión). Existen otros indicadores, que independientemente del tipo de pandemia y de la necesidad o no de vector se recogen en la mayoría de las RS incluidas, hacen referencia a las instalaciones (para diagnóstico, prevención y tratamiento), los equipos de protección del personal, soporte vital necesario para los pacientes y equipo sanitario cuantitativa y cualitativamente suficiente para responder a las necesidades.

Existen 2 indicadores que aparecen tanto como indicadores clínicos como de gestión, y que además aparecen en un gran número de las RS incluidas: vacunación y testeo. La vacunación como indicador clínico recoge variables de la eficacia de la vacuna y el estado de inmunización del paciente

tras la administración, mientras que como indicador de gestión sanitaria contempla los planes de vacunación y la división en estos planes de la población vulnerable (67). El testeo como indicador clínico recoge principalmente variables referidas a la sensibilidad de los diferentes tests, mientras que como indicador de gestión contempla variables de disponibilidad de test y planes de testeo masivo (68). Esta doble aparición de estos dos indicadores da cuenta de su importancia en el manejo de pandemias, y cómo su doble perspectiva tanto de eficacia de la tecnología como de accesibilidad de la población deben de ser evaluadas por los decisores y las administraciones en los diferentes puntos de evolución de la pandemia.

En la síntesis de los resultados fue necesario contemplar la categoría Otros indicadores, pues las RS incluidas revelaban que los simuladores o modelos contemplaban indicadores no clínicos ni de gestión, que era necesarios para el correcto modelado o simulación. Tanto si la transmisión de la pandemia objeto de simulación es dependiente de vector o no, los factores climatológicos aparecen como uno de los indicadores con una mayor frecuencia (69). En los casos en los que es necesario un vector para la transmisión, se contemplan tanto las condiciones climatológicas necesarias para la supervivencia del vector como del patógeno (70). En este grupo destacan también otros 2 tipos de indicadores: económicos y de datos de posicionamiento. Los indicadores económicos adquieren una gran importancia ya que las medidas de restricciones pueden afectar a valores macro y microeconómicos, tanto de pérdidas de unos sectores como de ganancias de otros, que pueden afectar de manera directa a los ciudadanos (71). Los datos de posicionamiento, principalmente a través de dispositivos móviles y redes sociales, aparece con una alta frecuencia en las RS incluidas (72). El uso de estos datos suele ser principalmente para rastrear la movilidad y la adherencia de la población a las restricciones sociales, sin embargo, dada la gran complejidad de estos datos, su reciente utilización y los posibles conflictos ético-legales que puede tener su uso, su tratamiento debe ser cuidadoso y especializado.

## Limitaciones del informe

Las principales limitaciones de este informe surgen por la gran cantidad de evidencia encontrada. Esta gran cantidad de información y la limitación temporal para la realización del estudio, llevó a los autores de este informe a incluir estudios a nivel de RS y no de estudios primarios, con la consiguiente limitación por tipo de estudio que esto puede conllevar. Además, tras su evaluación con la herramienta AMSTAR2, ninguna de las RS incluidas obtuvo una calidad alta.

Tal y como se define en la introducción del presente informe las catástrofes que pueden conllevar el posible tensionamiento de los sistemas sanitarios, pueden tener orígenes muy diversos. En este estudio se han contemplado solamente situaciones de brotes de enfermedad, pandemias o epidemias, como posibles orígenes del tensionamiento sanitario. Si bien, otro tipo de catástrofes también podrían causar dicho tensionamiento y en ellas podrían ser útiles el uso de simuladores o modelos para la toma de decisiones. Sin embargo, estos escenarios no han sido contemplados por los autores dentro de la pregunta de investigación por las limitaciones temporales y la gran cantidad de evidencia recogida. Con el objetivo de paliar esta limitación, se incluyeron en la pregunta de investigación y en la búsqueda todas las enfermedades causantes de epidemias y pandemias en el siglo XXI.

## Lagunas del conocimiento

La evidencia recopilada ha permitido la detección de algunas lagunas de conocimiento en el desarrollo de simuladores y modelos para la toma de decisiones en brotes de enfermedades, pandemias o epidemias. Entre estas lagunas, destacan la falta de homogeneización tanto en las variables tenidas en cuenta como en la validación y evaluación de los simuladores y modelos matemáticos. Esta falta de homogeneización en las herramientas y en los mecanismos de evaluación y validación, conlleva también la dificultad de adaptación de las simulaciones o modelos a diferentes escenarios o perspectivas.

En cuanto a la intervención, definida en la pregunta de investigación SPICE como las patologías contempladas por los modelos o simuladores, la metodología de modelización, la metodología de simulación, el posible uso de IA, ML o DL, el coste computacional y el mecanismo de validación, es destacable que solamente una de las RS incluidas (y en un bajo porcentaje sus estudios primarios) incluyan otras enfermedades no dependientes de la pandemia en la simulación. Los autores consideran importante contemplar el posible impacto que pueda tener el tensionamiento sanitario surgido de un brote de una enfermedad, pandemia o epidemia en el diagnóstico o el tratamiento de otras patologías, especialmente cuando se trata de patologías tiempo dependientes o patologías crónicas.

En cuanto a la perspectiva, definida como el ámbito de aplicación del modelo o de la simulación y de sus usuarios, no se encontró información en la evidencia recopilada. A pesar de ello, los autores de este informe consideran que es esencial contemplar este factor durante el desarrollo de un simulador o modelo para que pueda tener un impacto real en la toma de decisiones.

# Conclusiones

En este informe se ha realizado una revisión sistemática de la literatura, siguiendo las recomendaciones recogidas por la declaración PRISMA y la metodología de análisis de contenido, para responder a la pregunta de investigación en formato SPICE: ¿Cuáles son los indicadores de perspectiva clínica y de gestión utilizadas en modelización o simulación para la toma de decisiones dentro de la perspectiva del sistema sanitario en un escenario de brote de una enfermedad, pandemia o epidemia? Esta revisión permitió, tras la búsqueda en la literatura planteada y el filtrado por pares, la inclusión de 20 revisiones sistemáticas para su análisis cualitativo y síntesis cuantitativa. Las conclusiones de esta revisión son:

- El análisis de contenido de las 20 RS incluidas ha permitido identificar simuladores y modelos matemáticos para su aplicación en brotes pandemias o epidemias de 5 enfermedades, con dinámicas e intervenciones diferentes: COVID19 (12RS), dengue (4 RS), ébola (3 RS), malaria (1 RS), gripe común (1 RS), sarampión (1RS), VIH (1RS), hepatitis C (1RS).
- Respecto a las metodologías de modelización y simulación aplicadas por los estudios incluidos en las RS, 11 de las 20 RS incluyen modelizaciones de evoluciones de pandemia como estudios primarios mientras que 9 RS incluyen simulaciones. Se ha detectado una gran heterogeneidad en los estudios que incluyen las RS en las metodologías aplicadas tanto en la modelización como en la simulación de la evolución de las diferentes pandemias. Esta heterogeneidad es extensible a la utilización o no de la IA, ML o DL, siendo las RS más recientes en las que se observa un mayor uso de estas tecnologías.
- El indicador clínico que se presenta en mayor frecuencia en todos los simuladores y modelos independientemente de la enfermedad causante es el estado del paciente; además de la evolución de la pandemia y la transmisión. Sin embargo, mientras que para evaluar la evolución de la pandemia sí existe homogeneidad, las variables de la transmisión presentan una alta heterogeneidad (principalmente dependiendo del mecanismo de transmisión de la enfermedad y si es necesario un vector para la misma), al igual que los estados del paciente contemplados para el modelo o simulación.

- Los indicadores de salud pública y gestión que presentan una mayor frecuencia en todos los tipos de simuladores y modelos independientemente de la enfermedad causante son las medidas de control y restricción, los planes de vacunación y la gestión de las necesidades hospitalarias. Las medidas de control y restricción aparecen determinadas por diferentes variables dependiendo principalmente de los mecanismos de transmisión. La gestión de necesidades hospitalarias incluye variables de gestión y protección del personal sanitario, la existencia de instalaciones y la disponibilidad de los mecanismos de soporte vital necesarios.
- La vacunación y el testeo aparecen tanto como indicadores clínicos (eficacia de la vacuna y sensibilidad y especificidad del test) como de gestión sanitaria (disponibilidad, estratificación de la población, testeos masivos o estrategias de vacunación). Reflejando la gran importancia de ambos indicadores, siempre que estén disponibles, para la toma de decisiones en pandemias o epidemias.
- En la categoría de indicadores que no eran ni indicadores clínicos ni de gestión, definidos como otros indicadores, presentan una mayor frecuencia en todos los tipos de los simuladores y modelos de las RS incluidas los indicadores climatológicos y poblacionales. Los indicadores climatológicos constan principalmente de las variables de temperatura y humedad, que se relacionan con las condiciones que favorecen o dificultan la propagación. Los indicadores poblacionales incluyen variables de densidad demográfica que podrían condicionar la aparición y propagación de la pandemia.
- Las RS que presentan una mayor heterogeneidad en los indicadores y variables para la simulación o modelado matemático son aquellas que recogen brotes, pandemias o epidemias cuya transmisión es dependiente de vector, ya que los mecanismos de transmisión y las medidas para la contención de la pandemia difieren totalmente del resto de enfermedades.
- Los mecanismos de validación, tanto interna como externa, y evaluación de los simuladores o modelados matemáticos, reflejan según las RS incluidas una gran heterogeneidad. En algunas de las RS incluso no se recogen de forma explícita estos mecanismos.

Los recursos informáticos y las metodologías de modelados matemáticos y simulaciones actuales permiten el desarrollo e implementación de simuladores para la toma de decisiones clínicas o de gestión en brotes de enfermedades, pandemias y epidemias. Este tipo de simuladores pueden contribuir de manera complementaria en la toma de decisiones clínicas o de gestión para obtener resultados beneficiosos para la población afectada por la

pandemia, permitiendo su medición a través de estos mismos indicadores. Sin embargo, es necesaria la validación y evaluación de su metodología de forma estandarizada, y la homogeneización de las metodologías de simulación y modelado matemático, así como de los indicadores y variables, aunque estos puedan reflejar singularidades de las enfermedades objeto de estudio.

# Referencias

1. World Health Organization (WHO). A strategic framework for emergency preparedness [Internet]. Geneva (CH): WHO; 2017 [citado may 2024]. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/a-strategic-framework-for-emergency-preparedness>
2. Pourhosseini SS, Ardalan A, Mehroolhassani MH. Key aspects of providing healthcare services in disaster response stage. Iran J Public Health [Internet]. 2015 [citado may 2024];44(1):111–8. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4449997/>
3. Lu S, Christie GA, Nguyen TT, Freeman JD, Hsu EB. Applications of Artificial Intelligence and *Machine learning* in Disasters and Public Health Emergencies. Disaster Med Public Health Prep [Internet]. 2022 [citado may 2024];16(4):1674–81. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34134815/>
4. United Nations (UN). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 [Internet]. [s.l.]:UN;2015 [citado may 2024]. URL: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)
5. Holloway R, Rasmussen SA, Zaza S, Cox NJ, Jernigan DB. Updated preparedness and response framework for influenza pandemics. MMWR Recomm Reports [Internet]. 2014 [citado may 2024];63(1):1–18. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25254666/>
6. National Cancer Institute (NCI). Definición de SARS-CoV-2: Diccionario de cáncer del NCI [Internet]. Bethesda (US) : NCI; 2024 [citado may 2024]. URL: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/sars-cov-2>
7. World Health Organization (WHO). WHO Health Emergencies Programme [Internet]. Manila (PH): WHO; 2024 [citado may 2024]. URL: <https://www.who.int/westernpacific/about/how-we-work/programmes/who-health-emergencies-programme>
8. World Health Organization. European Programme of Work 2020-2025: United Action for Better Health [Internet]. Geneva (CH): WHO; 2021 [citado may 2024]. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/339209>
9. Haafza LA, Awan MJ, Abid A, Yasin A, Nobanee H, Farooq MS. Big data covid-19 systematic literature review: Pandemic crisis. Electronics . 2021; 10 (24): 3125. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10243125>

10. Delgado JA. Modelo dinámico de la pandemia de COVID19. Revista de Sanidad de las Fuerzas Armadas de España [Internet]. 2021 [citado may 2024];77(1):1887–8571. URL: [https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS\\_PAPEL22197/page\\_1.html](https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS_PAPEL22197/page_1.html)
11. Arji G, Ahmadi H, Avazpoor P, Hemmat M. Identifying resilience strategies for disruption management in the healthcare supply chain during COVID-19 by digital innovations: A systematic literature review. Informatics Med Unlocked. 2023;38:101199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101199>
12. Mahdi SS, Jafri HA, Allana R, Battineni G, Khawaja M, Sakina S, et al., Systematic review on the current state of disaster preparation Simulation Exercises (SimEx). BMC Emerg Med [Internet]. 2023 [citado may 2024];23(1):52. URL: <https://bmcmemergmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12873-023-00824-8>
13. Corvetto MA, Altermatt FR, Belmar F, Escudero E. Health Care Simulation as a *Training* Tool for Epidemic Management: A Systematic Review. Simul Healthc [Internet]. 2023 [citado may 2024];18(6):382–91. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36881436/>
14. Weldon SM, Buttery AG, Spearpoint K, Kneebone R. Transformative forms of simulation in health care – the seven simulation-based ‘T’s: a concept taxonomy review of the literature. Int J Healthc Simul. 2023;1–13. DOI: <https://doi.org/10.54531/tzfd6375>
15. World Health Organization Eastern Mediterranean Region (WHO EMRO). Disease outbreaks [Internet]. Cairo (EG): WHO EMRO; 2024 [citado may 2024]. URL: <https://www.emro.who.int/health-topics/disease-outbreaks/>
16. Instituto Nacional de Estadística (INE). Notas de prensa: Defunciones según la Causa de Muerte Año 2020 [Internet]. Madrid (ES): INE;2021 [citado may 2024] URL: [https://www.ine.es/prensa/edcm\\_2020.pdf](https://www.ine.es/prensa/edcm_2020.pdf)
17. Instituto Nacional de Estadística (INE). Notas de prensa: Defunciones según la Causa de Muerte-Año 2021 (datos definitivos) y primer semestre 2022 (datos provisionales) (2/16) [Internet]. Madrid (ES): INE;2022 [citado may 2024]. URL: [https://www.ine.es/prensa/edcm\\_2021.pdf](https://www.ine.es/prensa/edcm_2021.pdf)
18. Instituto Nacional de Estadística (INE). Notas de prensa: Defunciones según la Causa de Muerte-Año 2022 (datos provisionales) (1/6) [Internet] Madrid (ES): INE;2023 [citado may 2024] URL: [https://www.ine.es/prensa/edcm\\_2022.pdf](https://www.ine.es/prensa/edcm_2022.pdf)



19. Instituto Nacional de Estadística (INE). Notas de prensa: Defunciones según la causa de muerte. Definitivos 2022 y provisionales semestre 1/2023 [Internet]. Madrid (ES): INE;2023 [citado may 2024]. URL: [https://www.ine.es/prensa/edcm\\_2022\\_d.pdf](https://www.ine.es/prensa/edcm_2022_d.pdf)
20. Luo Q, O'Connell DL, Yu XQ, Kahn C, Caruana M, Pesola F, et al., Cancer incidence and mortality in Australia from 2020 to 2044 and an exploratory analysis of the potential effect of treatment delays during the COVID-19 pandemic: a statistical modelling study. *Lancet Public Health*. 2022 ;7(6):e537–48. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00090-1)
21. Chiesa V, Antony G, Wismar M, Rechel B. COVID-19 pandemic: Health impact of staying at home, social distancing and “lockdown” measures - A systematic review of systematic reviews. *J Public Heal (United Kingdom)* [Internet]. 2021 [citado may 2024];43(3):E462–81. URL:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33855434/>
22. Nouvellet P, Bhatia S, Cori A, Ainslie KEC, Baguelin M, Bhatt S, et al., Reduction in mobility and COVID-19 transmission. *Nat Commun* [Internet]. 2021[citado may 2024];12(1):1090. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-21358-2>
23. Hernandez-Vargas E, Velasco-Hernández JX. *Mathematical Modelling, Simulations, and AI for Emergent Pandemic Diseases*. London: Academic Press, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-02691-2>
24. Carrasco LR, Jit M, Chen MI, Lee VJ, Milne GJ, Cook AR. Trends in parameterization, economics and host behaviour in influenza pandemic modelling: A review and reporting protocol. *Emerg Themes Epidemiol*. 2013; DOI: <https://doi.org/10.1186/1742-7622-10-3>
25. Singh R, Mathirajan M. Simulation modelling techniques for managing epidemic outbreak: A review, classification schemes, and meta-analysis. *J Simul*. 2022;17(6):709–28. DOI: <https://doi.org/10.1080/17477778.2022.2067012>
26. Zio E, Verlag. AS. *The Monte Carlo simulation method for system reliability and risk analysis*. London (UK): Springer, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4588-2>
27. Duggan J. *An introduction to system dynamics*. In: *System Dynamics Modeling with R. Lecture Notes in Social Networks*. Cham: Springer International Publishing, 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-34043-2\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-34043-2_1)

28. Columbia University. Mailman School of Public Health: *Agent-based Modeling* [Internet]. New York (US): Columbia, 2024 [citado may 2024] URL: <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/agent-based-modeling>
29. Main Yaque P. Simulación de Sucesos Discretos. Prácticas en casos reales con R. Competición de estudiantes de simulación [Internet]. Madrid (ES): Universidad Complutense de Madrid; 2016 [citado may 2024]. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/25285>
30. Health Information and Quality Authority (HIQA). Guidance on developing Key Performance Indicators and Minimum Data Sets to Monitor Healthcare Quality [Internet]. Cork (IE): HIQA, 2013 [citado may 2024]; URL: <https://www.hiqa.ie/sites/default/files/2017-01/KPI-Guidance-Version1.1-2013.pdf>
31. Martinez-Millana A, Saez-Saez A, Tornero-Costa R, Azzopardi-Muscat N, Traver V, Novillo-Ortiz D. Artificial intelligence and its impact on the domains of universal health coverage, health emergencies and health promotion: An overview of systematic reviews. *Int J Med Inform.* 2022;166:104855. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104855>
32. Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, McNally R, Cheraghi-Sohi S. PICO, PICOS and SPIDER: A comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research* [Internet]. 2014 [citado may 2024]. URL: <https://bmchealthservres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12913-014-0579-0>
33. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al., The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ.* 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
34. Bengtsson M. How to plan and perform a qualitative study using content analysis. *NursingPlus Open.* 2016;2:8–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.npls.2016.01.001>
35. Team ATLAS.ti. Exploración del análisis de contenido en la investigación cualitativa. En: Guía definitiva de la investigación cualitativa - Parte 2: Tratamiento de datos cualitativos [Internet]. [citado may 2024]. URL: <https://atlasti.com/es/guias/guia-investigacion-cualitativa-parte-2/analisis-del-contenido>
36. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al., AMSTAR 2: A critical appraisal tool for systematic reviews that include *randomised* or *non-randomised* studies of healthcare interventions, or both. *BMJ.* 2017;358:j4008. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>

37. Wynants L, Van Calster B, Collins GS, Riley RD, Heinze G, Schuit E, et al., Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: Systematic review and critical appraisal. *BMJ*. 2020;369. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1328>
38. Saleem F, Al-Ghamdi ASAM, Alassafi MO, Alghamdi SA. Machine learning, Deep Learning, and Mathematical Models to Analyze Forecasting and Epidemiology of COVID-19: A Systematic Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095099>
39. Gnanvi JE, Salako KV, Kotanmi GB, Glèlè Kakaï R. On the reliability of predictions on Covid-19 dynamics: A systematic and critical review of modelling techniques. *Infect Dis Model*. 2021;6:258–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.12.008>
40. Wolff RF, Moons KGM, Riley RD, Whiting PF, Westwood M, Collins GS, et al., PROBAST: A tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies. *Ann Intern Med*. 2019;170(1):51–8. DOI: <https://doi-org.bvsspa.idm.oclc.org/10.7326/M18-1377>
41. Smith DRM, Chervet S, Pinettes T, Shirreff G, Jijón S, Oodally A, et al., How have mathematical models contributed to understanding the transmission and control of SARS-CoV-2 in healthcare settings? A systematic search and review. *J Hosp Infect*. 2023;141:132–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.07.028>
42. Zhang W, Liu S, Osgood N, Zhu H, Qian Y, Jia P. Using simulation modelling and systems science to help contain COVID-19: A systematic review. *Syst Res Behav Sci*. 2023;40(1):207–34. DOI: <https://doi.org/10.1002/sres.2897>
43. Kimani TN, Nyamai M, Owino L, Makori A, Ombajo LA, Maritim MB, et al., Infectious disease modelling for SARS-CoV-2 in Africa to guide policy: A systematic review. *Epidemics*. 2022;40:100610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2022.100610>
44. Aguiar M, Anam V, Blyuss KB, Estadilla CDS, Guerrero B V., Knopoff D, et al., Mathematical models for dengue fever epidemiology: A 10-year systematic review. *Phys Life Rev*. 2022;40:65–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2022.02.001>
45. Klein MG, Cheng CJ, Lii E, Mao K, Mesbahi H, Zhu T, et al., COVID-19 Models for Hospital Surge Capacity Planning: A Systematic Review. *Disaster Med Public Health Prep*. 2022;16(1):390–7. DOI: <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.332>

46. Shakeel SM, Kumar NS, Madalli PP, Srinivasaiah R, Swamy DR. Covid-19 prediction models: A systematic literature review. *Osong Public Heal Res Perspect*. 2021;12(4):215–29. DOI: <https://doi.org/10.24171/j.phrp.2021.0100>
47. Lorig F, Johansson E, Davidsson P. *Agent-based* social simulation of the covid-19 pandemic: A systematic review. *Jasss*. 2021;24(3). DOI: <https://doi.org/10.18564/jasss.4601>
48. Payedimarri AB, Concina D, Portinale L, Canonico M, Seys D, Vanhaecht K, et al., Prediction models for public health containment measures on covid-19 using artificial intelligence and *machine learning*: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18094499>
49. Özsezer G, Mermer G. Using Artificial Intelligence in the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. *Acta Med Iran*. 2022;60(7):387–97. DOI: <https://doi.org/10.18502/acta.v60i7.10208>
50. Hoyos W, Aguilar J, Toro M. Dengue models based on *machine learning* techniques: A systematic literature review. *Artif Intell Med*. 2021;119(August):102157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2021.102157>
51. Dogan O, Tiwari S, Jabbar MA, Guggari S. A systematic review on AI/ML approaches against COVID-19 outbreak. *Complex Intell Syst*. 2021;7(5):2655–78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00424-8>
52. Carias C, Ohagan JJ, Gambhir M, Kahn EB, Swerdlow DL, Meltzer MI. Forecasting the 2014 west african ebola outbreak. *Epidemiol Rev*. 2019;41(1):34–50. DOI: <https://doi.org/10.1093/epirev/mxz013>
53. Smith NR, Trauer JM, Gambhir M, Richards JS, Maude RJ, Keith JM, et al., *Agent-based* models of malaria transmission: A systematic review. *Malar J*. 2018;17(1):1–16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2442-y>
54. Wong ZSY, Bui CM, Chughtai AA, MacIntyre CR. A systematic review of early modelling studies of Ebola virus disease in West Africa. *Epidemiol Infect*. 2017;145(6):1069–94. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0950268817000164>
55. Prieto DM, Das TK, Savachkin AA, Uribe A, Izurieta R, Malavade S. A systematic review to identify areas of enhancements of pandemic simulation models for operational use at provincial and local levels. *BMC Public Health*. 2012;12(1):251. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-251>

56. Andraud M, Hens N, Marais C, Beutels P. Dynamic epidemiological models for dengue transmission: a systematic review of structural approaches. PLoS One. 2012;7(11). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049085>
57. Puente-Castro A, Galdo B, Criado IS, Boileve DB, Rabuñal JR, Pazos A, et al., PRACTICUM DIRECT Simulator for Decision Making during Pandemics. Eng Proc. 2021; 7(1):48. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2021007048>
58. Briones Gamarra O, Gonzalez Cacheda B, Varela Álvarez EJ. La gobernanza de la salud a partir de la gestión de la evidencia: análisis de la toma de decisiones sanitarias en el caso de la pandemia covid-19 en Galicia(2020-2022). [Internet] Pertsonak eta Antolakd Publikoak kudeatzeko Euskal Aldizkaria / Rev Vasca Gestión Pers y Organ Públicas. 2023;(5):80-105 [citado may 2024] URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9024369>
59. Nixon K, Jindal S, Parker F, Reich NG, Ghobadi K, Lee EC, et al., An evaluation of prospective COVID-19 modelling studies in the USA: from data to science translation. The Lancet Digital Health. 2022; 4(10): e738-e747. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00148-0)
60. Heslop DJ, Chughtai AA, Bui CM, MacIntyre CR. Publicly available *software* tools for decision-makers during an emergent epidemic-Systematic evaluation of utility and usability. Epidemics. 2017;21(101484711 PG-1–12):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2017.04.002>
61. Duarte A, Walker S, Metry A, Wong R, Panovska-Griffiths J, Sculpher M. Jointly Modelling Economics and Epidemiology to Support Public Policy Decisions for the COVID-19 Response: A Review of UK Studies. Pharmacoeconomics . 2021;39(8):879–87. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40273-021-01045-2>
62. Curran J, Dol J, Boulos L, Somerville M, McCulloch H. Public Health and Health Systems Impacts of SARS-CoV-2 Variants of Concern: A Rapid Scoping Review. medRxiv. 2021. DOI <https://doi.org/10.1101/2021.05.20.21257517>
63. Linardon J, Messer M, Rodgers RF, Fuller-Tyszkiewicz M. A systematic scoping review of research on COVID-19 impacts on eating disorders: A critical appraisal of the evidence and recommendations for the field. International Journal of Eating Disorders. 2022; 55(1):3-38. DOI: <https://doi.org/10.1002/eat.23640>.

64. Kupcova I, Danisovic L, Klein M, Harsanyi S. Effects of the COVID-19 pandemic on mental health, anxiety, and depression. *BMC Psychol.* 2023;11(1):108. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40359-023-01130-5>
65. Aguilera-Cobos L, Isabel-Gómez R, Blasco-Amaro JA. Efectividad de la limitación de la movilidad en la evolución de la pandemia por Covid-19. Sevilla: AETSA, Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía, Madrid: Ministerio de Sanidad; 2022. DOI: <http://doi.org/10.52766/PYUI7071>
66. Albrecht D. Vaccination, politics and COVID-19 impacts. *BMC Public Health.* 2022;22(1):96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12432-x>
67. Alvarez E, Bielska IA, Hopkins S, Belal AA, Goldstein DM, Slick J, et al., Limitations of COVID-19 testing and case data for evidence-informed health policy and practice. *Heal Res Policy Syst* . 2023;21(1):11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12961-023-00963-1>
68. Zhang C, Liao H, Strobl E, Li H, Li R, Jensen SS, et al., The role of weather conditions in COVID-19 transmission: A study of a global panel of 1236 regions. *J Clean Prod.* 2021;292:125987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125987>
69. Baharom M, Ahmad N, Hod R, Arsad FS, Tangang F. The Impact of Meteorological Factors on Communicable Disease Incidence and Its Projection: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(21):11117. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182111117>
70. Birch S. Modelling the economic impact of COVID19 under different policy choices: Mitigation versus suppression when time is a scarce resource. *SSM - Popul Heal.* 2020; 12:100667. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2020.100667>
71. Manekiya M, Donelli M. Monitoring the COVID-19 diffusion by combining wearable biosensors and smartphones. *Prog Electromagn Res M.* 2021;100:13-21. DOI: <https://doi.org/10.2528/PIERM20101905>

# Anexos

## Anexo 1. Listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XXI

**Tabla 6: Listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XX**

Evento	Duración	Tipo
Epidemia de dengue en Centroamérica	2000 - 2001	Epidemia
Epidemia de cólera de Nigeria	2001	Epidemia
Brote de cólera en Sudáfrica	2001	Epidemia
Epidemia de síndrome respiratorio agudo grave de 2002-2004	2002 - 2004	Pandemia
Pandemia de gripe aviar H5N1	2003 - 2004	Pandemia
Epidemia de leishmaniasis en Afganistán	2004	Epidemia
Epidemia de dengue en Indonesia	2004	Epidemia
Brote de cólera en Senegal	2004	Epidemia
Brote de peste en Sudán	2004	Epidemia
Brote de dengue en Singapur	2005	Epidemia
Epidemia de cólera en Luanda	2006	Epidemia
Epidemia de peste en la India	2006	Epidemia
Brote de malaria en la India	2006	Epidemia
Brote de dengue en India	2006	Epidemia
Brote de chikunguña	2006	Epidemia
Brote de dengue en Pakistán	2006	Epidemia
Epidemia de dengue en Filipinas de 2006	2006 - 2007	Epidemia
Brote de fiebre del Valle del Rift en África Oriental	2006 - 2007	Epidemia
Brote de cólera en Vietnam	2007	Epidemia
Brote de ébola en Uganda	2007	Epidemia
Brote de polio en Nigeria	2007	Epidemia
Epidemia de cólera en Etiopía	2007	Epidemia
Brote de cólera en Irak	2007	Epidemia
Epidemia de ébola en Mweka	2007 -2008	Epidemia
Epidemia de dengue de 2007-2008	2007 - 2008	Epidemia
Brote de listeriosis de 2008 en Canadá	2008	Epidemia
Brote de peste en Madagascar	2008	Epidemia
Epidemia de dengue en Brasil	2008	Epidemia
Brote de listeriosis de 2008-2009 en Chile	2008 - 2009	Epidemia
Epidemia de dengue en Camboya	2008 - 2009	Epidemia
Epidemia de cólera en Chad	2008 - 2009	Epidemia
Epidemia de mano-pie-boca en China	2008 - 2017	Epidemia
Epidemia de cólera en India	2008 - 2009	Epidemia

**Tabla 6: Listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XX (continuación)**

<b>Evento</b>	<b>Duración</b>	<b>Tipo</b>
Epidemia de dengue en Filipinas en 2008	2008 - 2009	Epidemia
Brote de cólera en Zimbabue de 2008	2008 - 2009	Epidemia
Epidemia de dengue en Bolivia en 2009	2009	Epidemia
Brote de hepatitis B	2009	Epidemia
Brote de paperas en 2009	2009 - 2010	Epidemia
Pandemia de gripe A H1N1 de 2009-2010 en las Islas Marshall	2009 - 2010	Pandemia
Brote de meningitis en África occidental	2009 - 2010	Epidemia
Pandemia de gripe A (H1N1)	2009 - 2010	Pandemia
Brote de cólera en Haití	2010 - 2019	Epidemia
Epidemia de sarampión en el Congo de 2010	2010 - 2014	Epidemia
Epidemia de mano-pie-boca en Vietnam	2011 - 2012	Epidemia
Epidemia de dengue en Pakistán	2011 - 2012	Epidemia
Brote de fiebre amarilla en Sudán	2012 - 2013	Epidemia
Epidemia de síndrome respiratorio de Oriente Medio	2012 - 2015	Pandemia
Brote de dengue en Singapur	2013 - 2013	Epidemia
Brote de sarampión en Vietnam	2013 - 2014	Epidemia
Epidemia de ébola de 2014	2013 - 2016	Epidemia
Epidemia de chikunguña en América	2013 - 2015	Epidemia
Epidemia de gripe aviaria en China	2013 - 2019	Epidemia
Brote de peste en Madagascar	2014 - 2017	Epidemia
Brote de ictericia de Odisha en 2014	2014 - 2015	Epidemia
Brote de gripe porcina india de 2015	2015 - 2016	Epidemia
Epidemia de virus del Zika	2015 - 2016	Epidemia
Brote de fiebre amarilla en Angola Y R.D Congo	2016 - 2017	Epidemia
Epidemia de cólera en Yemen	2016 - 2021	Epidemia
Epidemia de dengue en Peshawar	2017 - 2017	Epidemia
Temporada de gripe en EE.UU de 2017	2017 - 2017	Epidemia
Epidemia de encefalitis japonesa	2017 - 2018	Epidemia
Brote del virus Nipah en Kerala	2018 - 2018	Epidemia
Epidemia de ébola de Kivu	2018 - 2020	Epidemia
Epidemia de sarampión del Congo de 2019	2019 - 2020	Epidemia
Brote de sarampión en Filipinas	2019	Epidemia
Brote de sarampión de Kuala Koh	2019	Epidemia
Brote de sarampión en Samoa	2019	Epidemia
Epidemia de dengue de 2019	2019 - 2020	Epidemia
Pandemia de COVID19	2019 - presente	Pandemia
Brote de Ébola en la R. D. Congo de 2020-2021	2020 - 2021	Epidemia
Epidemia de Gripe A H5N1 de 2021- presente	2021 - presente	Epidemia
Brote de salmonelosis de 2021-2022	2021 - 2022	Epidemia
Hepatitis aguda grave de causa desconocida en niños	2021 - presente	Epidemia
Brote de enfermedad por el virus de Marburgo en Guinea de 2021	2021	Brote



**Tabla 6: Listado de las principales epidemias y pandemias a nivel mundial en el siglo XX (continuación)**

<b>Evento</b>	<b>Duración</b>	<b>Tipo</b>
Epidemia de mpox de 2022 – 2023	2022 - 2023	Epidemia
Brote de fiebre hemorrágica Crimea-Congo de 2022 – 2023	2022 - 2023	Epidemia
Brote de enfermedad por el virus de Marburgo en Ghana de 2022	2022	Brote
Brote de MERS de 2022	2022 - 2023	Epidemia
Brote de shigelosis extensamente resistente de 2022	2022	Brote
Brote de enfermedad por Lanya (Henipavirus) de 2022	2022	Brote
Brote de cólera de África de 2022 – presente	2022-presente	Brote
Brote de poliomielitis de 2022	2022	Brote
Brote de gripe del tomate de 2022	2022	Brote
Brote de legionelosis extensamente resistente de 2022-2023	2022 - 2023	Brote
Brote de Ébola Ugandesa del 2022-2023	2022 - 2023	Brote
Brote de meningitis de 2022 - presente	2022 - presente	Brote
Gran rebrote de enfermedades respiratorias comunes de 2022 - presente	2022 - presente	Brote
Brote mundial de lepra	2023	Brote
Brote de enfermedad por el virus de Marburgo en Guinea Ecuatorial y Tanzania de 2023	2023	Brote
Brote de malaria de Estados Unidos de 2023	2023 – presente	Brote
Brote de Guillain-Barré de 2023	2023 – presente	Brote
Brote del virus Nipah en Kerala	2023 – 2023	Epidemia
Brote de neumonía infantil en China de 2023	2023 – presente	Brote

## Anexo 2. Código en *Rstudio* para la representación de la Figura 2

```
1 install.packages("readr")
2 install.packages("ggplot")
3 library(readr)
4 library(ggplot2)
5
6 path <- "C:/Users/laguilera53D.FPSALUD/Documents/AETSA/Proyectos ministerio/2023/Simulador pandemias/"
7
8 data_modeling <- read_csv(paste0(path, "PubMed_Timeline.csv"), skip = 1)
9 data_simulation <- read_csv(paste0(path, "PubMed_Timeline_simulation.csv"), skip = 1)
10 data_machinelearning <- read_csv(paste0(path, "PubMed_Timeline_machinelearning.csv"), skip = 1)
11 data_artificialintelligence <- read_csv(paste0(path, "PubMed_Timeline_artificialintelligence.csv"), skip = 1)
12
13 data_artificialintelligence$Query <- "data_artificialintelligence"
14 data_machinelearning$Query <- "data_machinelearning"
15 data_modeling$Query <- "data_modeling"
16 data_simulation$Query <- "data_simulation"
17 combined_data <- bind_rows(data_artificialintelligence, data_machinelearning, data_simulation, data_modeling)
18 combined_data <- combined_data %>%
19   filter(Year >= 1970 & Year <= 2023)
20
21 ggplot(combined_data, aes(x = Year, y = Count, color = Query)) +
22   geom_line() +
23   labs(x = "Año",
24        y = "Número publicaciones PubMed")+
25   scale_color_manual(values = c("blue", "red", "green", "orange"),
26                     labels = c("artificial intelligence", "machine learning", "modeling", "simulation")) +
27   theme_minimal()
```

## Anexo 3. Estrategias de búsqueda

### Medline

Database: Ovid MEDLINE(R) and Epub Ahead of Print, In-Process, In-Data-Review & Other Non-Indexed Citations, Daily and Versions <1946 to January 31, 2024>.

Fecha de búsqueda: 01 de febrero de 2024.

*Search Strategy:*

1. Computer Simulation/
2. Computing Methodologies/ or exp Mathematical Computing/
3. Medical Informatics/ or Medical Informatics Applications/ or Decision Support Systems, Clinical/ or Information Systems/ or Big Data/
4. Decision Making, Computer-Assisted/
5. Artificial Intelligence/
6. *Machine learning*/
7. Models, Theoretical/
8. exp Models, Statistical/
9. exp Algorithms/
10. simulat\*.ti,ab,kf.
11. "big data".ti,ab,kf.
12. "*machine learning*".ti,ab,kf.
13. ("artificial intelligence\*" or AI).ti,ab,kf.
14. ("deep learning" or "hierarch\* learning").ti,ab,kf.
15. ((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) adj2 learn\*).ti,ab,kf.
16. "expert system\*".ti,ab,kf.
17. "*Decision Tree*".ti,ab,kf.
18. "support vecto\*".ti,ab,kf.
19. "*Random Forest*".ti,ab,kf.
20. ("neural network\*" or conectionist\* or perceptron\*).ti,ab,kf.
21. Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*).ti,ab,kf.

22. ((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) adj1 (algorithm\* or model\*)).ti,ab,kf.
23. Algorithm\*.ti,kf.
24. ("virtual realit\*" or model\*).ti,kf.
25. or/1-24
26. "Decision Making"/
27. "Decision Making, Organizational"/
28. exp Decision Theory/
29. exp Decision Support Techniques/
30. Forecasting/
31. (decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\*).ti,kf,kw.
32. (decision\* or Preparedness\* or ((respon\* or strateg\* or planning\*) adj4 (pandem\* or outbreak\* or epidemic\* or mitigat\*))).ab.
33. (policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" adj2 (official\* or practitioner\* or professional\*))).ti,ab,kf,kw.
34. or/26-33
35. and/25,34
36. exp Disease Outbreaks/
37. Disaster Medicine/
38. "Pandemic Preparedness"/
39. (Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*").ti,kf.
40. exp Dengue/
41. (dengue\* or ((Break-Bone\* or breakbone\*) adj1 fever\*)).ti,kf.
42. Cholera/
43. cholera\*.ti,kf. 19734
44. exp Coronavirus/ or exp Coronavirus Infections/
45. (SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\*).ti,kf.
46. exp Alphainfluenzavirus/ or exp Influenza, Human/
47. (H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\*).ti,kf.
48. exp Rickettsia/

49. "tomato\* flu".ti,kf.
50. Rhinovirus/ or exp Respiratory Syncytial Viruses/ or exp Adenoviridae/ or Adenoviridae Infections/ or exp Streptococcus/ or exp Bocavirus/ or Coxsackievirus Infections/
51. (Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Coxsackievir\*).ti,kf.
52. exp Leishmaniasis/
53. Leishman\*.ti,kf.
54. Ebolavirus/ or Yersinia Infections/ or exp Yersinia/
55. (Ebola\* or Yersinia\*).ti,kf.
56. exp Malaria/ or exp Plasmodium/
57. (Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\*).ti,kf.
58. Chikungunya Fever/ or Chikungunya virus/
59. Chikungunya\*.ti,kf.
60. Rift Valley Fever/ or Rift Valley fever virus/
61. "Rift Valley Fever\*".ti,kf.
62. Poliovirus/ or exp Poliomyelitis/
63. (Polio or Poliomyelit\*).ti,kf.
64. exp Listeriosis/ or exp Listeria/
65. (listeria\* or listeriosis\*).ti,kf.
66. Enterovirus/ or exp Enterovirus Infections/
67. Enterovir\*.ti,kf.
68. exp Hepatitis, Viral, Human/ or Hepatitis A/ or Hepatitis B/ or Hepatitis E/ or exp Hepatitis Viruses/
69. hepatitis\*.ti,kf.
70. Mumps/ or Mumps virus/
71. (Mumps\* or parotiti\*).ti,kf.
72. exp Meningitis/ or exp Neisseria meningitidis/
73. (Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\*).ti,kf.
74. Measles/ or Measles virus/
75. Measles\*.ti,kf.
76. Yellow Fever/ or Yellow fever virus/
77. "Yellow Fever\*".ti,kf.
78. Zika Virus/ or Zika Virus Infection/
79. zika\*.ti,kf.
80. Encephalitis, Japanese/ or exp Encephalitis Viruses, Japanese/

81. "Japanese Encephalit\*".ti,kf.
82. exp Salmonella/ or exp Salmonella Infections/
83. salmonella\*.ti,kf.
84. Marburgvirus/
85. Marburgvir\*.ti,kf.
86. "Mpox (monkeypox)"/ or Monkeypox virus/
87. (mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*").ti,kf.
88. Hemorrhagic Fever, Crimean/
89. ("Hemorrhagic Fever" and Crimean).ti,kf.
90. Dysentery, Bacillary/ or exp Shigella/
91. (Dysenter\* or Shigella\*).ti,kf.
92. Nipah Virus/ or exp Henipavirus Infections/
93. (Nipah\* or Henipavirus).ti,kf.
94. exp Legionella/
95. Legionella\*.ti,kf.
96. Mycobacterium leprae/ or \*exp Leprosy/
97. (lepra\* or lepro\*).ti,kf.
98. Mycoplasma pneumoniae/
99. pneumonia\*.ti,kf.
100. or/36-99
101. and/35,100
102. (systematic review or meta-analysis).pt.
103. meta-analysis/ or systematic review/ or systematic reviews as topic/ or meta-analysis as topic/ or "meta analysis (topic)"/ or "systematic review (topic)"/ or exp technology assessment, biomedical/ or network meta-analysis/
104. ((systematic\* adj3 (review\* or overview\*)) or (methodologic\* adj3 (review\* or overview\*))).ti,ab,kf. 348387
105. (quantitative adj3 (review\* or overview\* or synthes\*)).ti,ab,kf.
106. ((integrative adj3 (review\* or overview\*)) or (collaborative adj3 (review\* or overview\*))).ti,ab,kf.
107. (handsearch\* or hand search\*).ti,ab,kf.
108. (mantel haenszel or peto or der simonian or dersimonian or fixed effect\* or latin square\*).ti,ab,kf.
109. (met analy\* or metanaly\* or technology assessment\* or HTA or HTAs or technology overview\* or technology appraisal\*).ti,ab,kf.
110. (meta regression\* or metaregression\*).ti,ab,kf.

111. (meta-analy\* or metaanaly\* or systematic review\* or biomedical technology assessment\* or bio-medical technology assessment\*).mp,hw.
112. (medline or cochrane or pubmed or medlars or embase or cinahl).ti,ab,hw.
113. (cochrane or (health adj2 technology assessment) or evidence report).jw.
114. ("umbrella review\*" or "scoping review\*").ti,ab,kf.
115. (multi\* adj2 paramet\* adj2 evidence adj2 synthesis).ti,ab,kf.
116. (multiparamet\* adj2 evidence adj2 synthesis).ti,ab,kf.
117. (multi-paramet\* adj2 evidence adj2 synthesis).ti,ab,kf.
118. or/102-117
119. and/101,118

## EMBASE

Fecha de búsqueda: 01 de febrero de 2024.

- #01 'computer simulation'/exp
- #02 'mathematical computing'/exp/mj
- #03 'medical informatics'/exp/mj OR 'clinical decision support system'/exp/mj OR 'information system'/exp/mj OR 'big data'/exp/mj
- #04 'decision support system'/exp/mj
- #05 'artificial intelligence'/exp/mj
- #06 '*machine learning*'/exp/mj
- #07 'model'/exp/mj
- #08 'algorithm'/exp/mj
- #09 simulat\*:ti,ab,kw
- #10 'big data':ti,ab,kw
- #11 '*machine learning*':ti,ab,kw
- #12 'artificial intelligence\*':ti,ab,kw OR ai:ti,ab,kw
- #13 'deep learning':ti,ab,kw OR 'hierarch\* learning':ti,ab,kw
- #14 ((supervised OR unsupervised OR 'semi supervised' OR reinforcement OR centralised OR federated OR collaborative) NEAR/2 learn\*):ti,ab,kw
- #15 'expert system\*':ti,ab,kw
- #16 '*Decision Tree*\*':ti,ab,kw
- #17 'support vecto\*':ti,ab,kw

- #18 'Random Forest':ti,ab,kw
- #19 'neural network':ti,ab,kw OR conectionist\*:ti,ab,kw OR perceptron\*:ti,ab,kw
- #20 ((statistic\* OR probabili\* OR polynom\* OR 'two parameter' OR binom\* OR likelihood\* OR economic\* OR hazard\* OR cox\* OR linear\* OR logistic\* OR logit\* OR theor\* OR experiment\* OR mathemat\* OR disease\* OR epidemic\* OR epidemiologic\* OR biologic\* OR genetic\* OR immunolo\* OR transtheor\* OR computa\* OR predict\* OR bayes\* OR neighbor\* OR neighbour\* OR pandemic\* OR outbreak\* OR decision\* OR esembl\*) NEAR/1 (algorithm\* OR model\*)):ti,ab,kw18273
- #21 montecarlo\*:ti,ab,kw OR 'monte carlo':ti,ab,kw OR 'system dynamic':ti,ab,kw
- #22 algorithm\*:ti,kw
- #23 'virtual realit':ti,kw OR model\*:ti,kw
- #24 #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17 OR #18 OR #19 OR #20 OR #21 OR #22 OR #23
- #25 'decision making'/exp/mj
- #26 'decision theory'/mj
- #27 'forecasting'/mj
- #28 decision\*:ab OR preparedness\*:ab OR (((respon\* OR strateg\* OR planning\*) NEAR/4 (pandem\* OR outbreak\* OR epidemic\* OR mitigat\*)):ab)
- #29 policy\*:ti,ab,kw,de OR policies\*:ti,ab,kw,de OR manager\*:ti,ab,kw,de OR director\*:ti,ab,kw,de OR authorit\*:ti,ab,kw,de OR leader\*:ti,ab,kw,de OR planner\*:ti,ab,kw,de OR stakeholder\*:ti,ab,kw,de OR government\*:ti,ab,kw,de OR politic\*:ti,ab,kw,de OR (('public health' NEAR/2 (official\* OR practitioner\* OR professional\*)):ti,ab,kw,de)
- #30 #25 OR #26 OR #27 OR #28 OR #29
- #31 #24 AND #30
- #32 'epidemic'/exp/mj
- #33 'disaster medicine'/exp/mj
- #34 outbreak\*:ti,kw OR epidemic\*:ti,kw OR pandem\*:ti,kw OR 'health emergenc':ti,kw
- #35 'dengue'/exp/mj
- #36 dengue\*:ti,kw OR (((break bone\*' OR breakbone\*) NEAR/1 fever\*)):ti,kw)



- #37 'cholera'/exp/mj
- #38 cholera\*:ti,kw
- #39 'coronavirinae'/exp/mj OR 'coronavirus infection'/exp/mj
- #40 sars\*:ti,kw OR mers\*:ti,kw OR covid\*:ti,kw OR coronavirus\*:ti,kw
- #41 'influenza'/exp/mj
- #42 h5n1\*:ti,kw OR h7n9\*:ti,kw OR h1n1\*:ti,kw OR influenzavir\*:ti,kw
- #43 'rickettsia'/exp/mj
- #44 'tomato\* flu':ti,kw
- #45 'rhinovirus'/exp/mj OR 'pneumovirus'/exp/mj OR  
'adenoviridae'/exp/mj OR 'human adenovirus infection'/exp/mj  
OR 'streptococcus'/exp/mj OR 'human bocavirus'/exp/mj OR  
'coxsackie virus infection'/exp/mj
- #46 rhinovir\*:ti,kw OR syncytial\*:ti,kw OR adenovirid\*:ti,kw OR  
streptococc\*:ti,kw OR bocavir\*:ti,kw OR coxsackievir\*:ti,kw
- #47 'leishmaniasis'/exp/mj
- #48 leishman\*:ti,kw
- #49 'ebolavirus'/exp/mj OR 'yersinia infection'/exp/mj
- #50 ebola\*:ti,kw OR yersinia\*:ti,kw
- #51 'malaria'/exp/mj OR 'plasmodium'/exp/mj
- #52 malaria\*:ti,kw OR 'marsh fever\*:ti,kw OR 'remittent fever\*:ti,kw  
OR paludism\*:ti,kw OR plasmodium\*:ti,kw
- #53 'chikungunya'/exp/mj OR 'chikungunya virus'/exp/mj
- #54 chikungunya\*:ti,kw
- #55 'rift valley fever'/exp/mj OR 'rift valley fever virus'/exp/mj
- #56 'rift valley fever\*:ti,kw
- #57 'poliomyelitis virus'/exp/mj OR 'poliomyelitis'/exp/mj
- #58 polio:ti,kw OR poliomyelit\*:ti,kw
- #59 'listeriosis'/exp/mj OR 'listeria encephalitis'/exp/mj
- #60 listeria\*:ti,kw OR listeriosis\*:ti,kw
- #61 'human enterovirus'/exp/mj OR 'enterovirus infection'/exp/mj
- #62 enterovir\*:ti,kw
- #63 'hepatitis'/exp/mj
- #64 hepatitis\*:ti,kw
- #65 'mumps'/exp/mj OR 'mumps virus'/exp/mj
- #66 mumps\*:ti,kw OR parotiti\*:ti,kw
- #67 'meningitis'/exp/mj OR 'neisseria meningitidis'/exp/mj
- #68 meningiti\*:ti,kw OR pachymeningit\*:ti,kw OR neisseria\*:ti,kw

- #69 'measles'/exp/mj OR 'measles virus'/exp/mj
- #70 measles\*:ti,kw
- #71 'yellow fever'/exp/mj OR 'yellow fever virus'/exp/mj OR 'yellow fever':ti,kw
- #72 'zika fever'/exp/mj OR 'zika virus'/exp/mj
- #73 zika\*:ti,kw
- #74 'japanese encephalitis'/exp/mj OR 'japanese encephalitis virus group'/exp/mj
- #75 'japanese encephalit\*:ti,kw
- #76 'salmonella'/exp/mj OR salmonella\*:ti,kw
- #77 'marburgvirus'/exp/mj OR 'marburg hemorrhagic fever'/exp/mj
- #78 marburgvir\*:ti,kw
- #79 'monkeypox'/exp/mj OR 'monkeypox virus'/exp/mj
- #80 mpox\*:ti,kw OR monkeypox\*:ti,kw OR 'monkey pox\*:ti,kw
- #81 'crimean congo hemorrhagic fever'/exp/mj
- #82 'hemorrhagic fever':ti,kw AND crimean:ti,kw
- #83 'shigellosis'/exp/mj OR 'shigella'/exp/mj
- #84 dysenter\*:ti,kw OR shigella\*:ti,kw
- #85 'nipah virus'/exp/mj OR 'henipavirus infection'/exp/mj
- #86 nipah\*:ti,kw OR henipavirus:ti,kw
- #87 'legionella'/exp/mj
- #88 legionella\*:ti,kw
- #89 'mycobacterium leprae'/exp/mj OR 'leprosy'/exp/mj
- #90 lepra\*:ti,kw OR lepro\*:ti,kw
- #91 'mycoplasma pneumoniae'/exp/mj
- #92 pneumonia\*:ti,kw
- #93 #32 OR #33 OR #34 OR #35 OR #36 OR #37 OR #38 OR #39 OR #40 OR #41 OR #42 OR #43 OR #44 OR #45 OR #46 OR #47 OR #48 OR #49 OR #50 OR #51 OR #52 OR #53 OR #54 OR #55 OR #56 OR #57 OR #58 OR #59 OR #60 OR #61 OR #62 OR #63 OR #64 OR #65 OR #66 OR #67 OR #68 OR #69 OR #70 OR #71 OR #72 OR #73 OR #74 OR #75 OR #76 OR #77 OR #78 OR #79 OR #80 OR #81 OR #82 OR #83 OR #84 OR #85 OR #86 OR #87 OR #88 OR #89 OR #90 OR #91 OR #92
- #94 'systematic review':pt OR 'meta analysis':pt
- #95 'systematic review'/exp OR 'systematic review (topic)'/exp OR 'meta analysis'/exp OR 'meta analysis (topic)'/exp
- #96 ((systematic\* NEAR/3 (review\* OR overview\*)):ti,kw) OR ((methodologic\* NEAR/3 (review\* OR overview\*)):ti,kw)
- #97 (quantitative NEAR/3 (review\* OR overview\* OR synthes\*)):ti,kw

- #98 ((integrative NEAR/3 (review\* OR overview\*)):ti,kw) OR ((collaborative NEAR/3 (review\* OR overview\*)):ti,kw)
- #99 handsearch\*:ti,ab,kw OR 'hand search\*:ti,ab,kw
- #100 'mantel haenszel':ti,ab,kw OR peto:ti,ab,kw OR 'der simonian':ti,ab,kw OR dersimonian:ti,ab,kw OR 'fixed effect\*:ti,ab,kw OR 'latin square\*:ti,ab,kw
- #101 'met analy\*:ti,kw OR metanaly\*:ti,ab,kw OR 'technology assessment\*:ti,kw OR hta:ti,ab,kw OR htas:ti,kw OR 'technology overview\*:ti,kw OR 'technology appraisal\*:ti,kw
- #102 'meta regression\*:ti,kw OR metaregression\*:ti,kw
- #103 'meta analy\*:ti,de OR metaanaly\*:ti,de OR 'systematic review\*:ti,de OR 'biomedical technology assessment\*:ti,de OR 'bio-medical technology assessment\*:ti,de
- #104 medline:ti,ab,de OR cochrane:ti,ab,de OR pubmed:ti,ab,de OR medlars:ti,ab,de OR embase:ti,ab,de OR cinahl:ti,ab,de
- #105 cochrane:jt OR ((health NEAR/2 'technology assessment'):jt) OR 'evidence report':jt
- #106 'umbrella review\*:ti,kw OR 'scoping review\*:ti,kw
- #107 (multi\* NEAR/2 paramet\* NEAR/2 evidence NEAR/2 synthesis):ti,ab,kw
- #108 (multiparamet\* NEAR/2 evidence NEAR/2 synthesis):ti,ab,kw
- #109 ('multi paramet\*' NEAR/2 evidence NEAR/2 synthesis):ti,ab,kw
- #110 #94 OR #95 OR #96 OR #97 OR #98 OR #99 OR #100 OR #101 OR #102 OR #103 OR #104 OR #105 OR #106 OR #107 OR #108 OR #109
- #111 #31 AND #93 AND #110

## PsyclInfo

Fecha de búsqueda: 07 de febrero 2024.

- S1 DE "Computer Simulation" OR DE "Virtual Environment" OR DE "Virtual Reality"
- S2 DE "Artificial Intelligence" OR DE "Affective Computing" OR DE "Artificial Intelligence Ethics" OR DE "Cognitive Computing" OR DE "Computer Assisted Diagnosis" OR DE "Computer Linguistics" OR DE "Computer Vision" OR DE "Expert Systems" OR DE "Fuzzy Logic" OR DE "Heuristics" OR DE "Intelligent Agents" OR DE "Knowledge Representation" OR DE "*Machine learning*" OR DE "Robotics"
- S3 DE "Big Data"

- S4 DE "Machine learning" OR DE "Artificial Neural Networks" OR DE "Computational Reinforcement Learning" OR DE "Generative Artificial Intelligence" OR DE "Inductive Logic Programming" OR DE "Machine learning Algorithms" OR DE "Predictive Analysis" OR DE "Supervised Learning" OR DE "Unsupervised Learning" OR DE "Artificial Neural Networks" OR DE "Deep Neural Networks" OR DE "Extreme Learning Machine" OR DE "Spiking Neural Networks" OR DE "Computational Reinforcement Learning" OR DE "Optimization Algorithms" OR DE "Generative Artificial Intelligence" OR DE "Inductive Logic Programming" OR DE "Machine learning Algorithms" OR DE "Artificial Neural Networks" OR DE "Bayesian Algorithms" OR DE "Classification (Machine learning)" OR DE "Clustering (Machine learning)" OR DE "Decision Tree Algorithms" OR DE "Extreme Learning Machine" OR DE "Optimization Algorithms" OR DE "Regression (Machine learning)" OR DE "Support vector machine Algorithms" OR DE "Predictive Analysis" OR DE "Supervised Learning" OR DE "Classification (Machine learning)" OR DE "Regression (Machine learning)" OR DE "Unsupervised Learning" OR DE "Clustering (Machine learning)" OR DE "Brain Computer Interface" OR DE "Expert Systems" OR DE "Decision Support Systems" OR DE "Intelligent Personal Agents" OR DE "Conversational Agents" OR DE "Intelligent Tutoring Systems" OR DE "Recommender Systems"
- S5 DE "Intelligent Agents" OR DE "Intelligent Personal Agents" OR DE "Conversational Agents" OR DE "Recommender Systems" OR DE "Computer Software" OR DE "Groupware" OR DE "Hypermedia" OR DE "Hypertext" OR DE "Word Processing" OR DE "Machine learning Algorithms" OR DE "Artificial Neural Networks" OR DE "Bayesian Algorithms" OR DE "Classification (Machine learning)" OR DE "Clustering (Machine learning)" OR DE "Decision Tree Algorithms" OR DE "Extreme Learning Machine" OR DE "Optimization Algorithms" OR DE "Regression (Machine learning)" OR DE "Support vector machine Algorithms"
- S6 DE "Algorithms"
- S7 TI simulat\* OR AB simulat\* OR SU simulat\*
- S8 TI "big data" OR AB "big data" OR SU "big data"
- S9 TI "machine learning" OR AB "machine learning" OR SU "machine learning"
- S10 TI ( "artificial intelligence\*" or AI ) OR AB ( "artificial intelligence\*" or AI ) OR SU ( "artificial intelligence\*" or AI )
- S11 TI ( "deep learning" or "hierarch\* learning" ) OR AB ( "deep learning" or "hierarch\* learning" ) OR SU ( "deep learning" or "hierarch\* learning" )

- S12 TI ( ((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) N2 learn\*) ) OR AB ( ((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) N2 learn\*) ) OR SU ( ((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) N2 learn\*) )
- S13 TI "expert system\*" OR AB "expert system\*" OR SU "expert system\*"
- S14 TI "*Decision Tree*\*" OR AB "*Decision Tree*\*" OR SU "*Decision Tree*\*"
- S15 TI "support vecto\*" OR AB "support vecto\*" OR SU "support vecto\*"
- S16 TI "*Random Forest*\*" OR AB "*Random Forest*\*" OR SU "*Random Forest*\*"
- S17 TI ( ("neural network\*" or conectionist\* or perceptron\*) ) OR AB ( ("neural network\*" or conectionist\* or perceptron\*) ) OR SU ( ("neural network\*" or conectionist\* or perceptron\*) )
- S18 TI ( (Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*") ) OR AB ( (Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*") ) OR SU ( (Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*") )
- S19 TI ( ((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) N1 (algorithm\* or model\*)) ) OR AB ( ((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) N1 (algorithm\* or model\*)) ) OR SU ( ((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) N1 (algorithm\* or model\*)) )
- S20 TI Algorithm\* OR SU Algorithm\*

- S21 TI ( ("virtual realit\*" or model\*) ) OR SU ( ("virtual realit\*" or model\*) )
- S22 S1 OR S2 OR S3 OR S4 OR S5 OR S6 OR S7 OR S8 OR S9 OR S10 OR S11 OR S12 OR S13 OR S14 OR S15 OR S16 OR S17 OR S18 OR S19 OR S20 OR S21
- S23 DE "Decision Making" OR DE "Choice Behavior" OR DE "Ethical Decision Making" OR DE "Group Decision Making" OR DE "Management Decision Making"
- S24 DE "Decision Theory" OR DE "Prospect Theory"
- S25 (DE "Decision Support Systems") OR (DE "Intelligent Agents" OR DE "Intelligent Personal Agents" OR DE "Recommender Systems")
- S26 TI ( (decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\*) ) OR SU ( (decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\*) ) OR KW ( (decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\*) )
- S27 AB (decision\* or Preparedness\* or ((respon\* or strateg\* or planning\*) N4 (pandem\* or outbreak\* or epidemic\* or mitigat\*)))
- S28 TI ( (policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" N2 (official\* or practitioner\* or professional\*))) ) OR AB ( (policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" N2 (official\* or practitioner\* or professional\*))) ) OR KW ( (policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" N2 (official\* or practitioner\* or professional\*))) ) OR SU ( (policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" N2 (official\* or practitioner\* or professional\*))) )
- S29 S23 OR S24 OR S25 OR S26 OR S27 OR S28
- S30 S22 AND S29
- S31 DE "Disease Outbreaks" OR DE "Epidemics" OR DE "Epidemics" OR DE "Opioid Epidemic" OR DE "Pandemics"
- S32 DE "Emergency Preparedness"
- S33 TI ( (Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*") ) OR SU ( (Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*") ) OR KW ( (Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*") )
- S34 TI ( (dengue\* or ((Break-Bone\* or breakbone\*) N1 fever\*)) ) OR SU ( (dengue\* or ((Break-Bone\* or breakbone\*) N1 fever\*)) ) OR KW ( (dengue\* or ((Break-Bone\* or breakbone\*) N1 fever\*)) )
- S35 TI cholera\* OR SU cholera\* OR KW cholera\*

- S36 DE "Coronavirus" OR DE "COVID-19" OR DE "Middle East Respiratory Syndrome" OR DE "Severe Acute Respiratory Syndrome" OR DE "COVID-19" OR DE "Post-COVID-19 Conditions" OR DE "Middle East Respiratory Syndrome" OR DE "Severe Acute Respiratory Syndrome"
- S37 TI ( (SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\*) ) OR SU ( (SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\*) ) OR KW ( (SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\*) )
- S38 DE "Influenza" OR DE "Swine Influenza"
- S39 TI ( (H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\*) ) OR SU ( (H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\*) ) OR KW ( (H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\*) )
- S40 TI "tomato\* flu" OR SU "tomato\* flu" OR KW "tomato\* flu"
- S41 TI ( (Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Cocksackievir\*) ) OR SU ( (Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Cocksackievir\*) ) OR KW ( (Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Cocksackievir\*) )
- S42 TI Leishman\* OR SU Leishman\* OR KW Leishman\*
- S43 TI ( (Ebola\* or Yersinia\*) ) OR SU ( (Ebola\* or Yersinia\*) ) OR KW ( (Ebola\* or Yersinia\*) )
- S44 DE "Malaria"
- S45 TI ( (Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\*) ) OR SU ( (Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\*) ) OR KW ( (Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\*) )
- S46 TI Chikungunya\* OR SU Chikungunya\* OR KW Chikungunya\*
- S47 TI "Rift Valley Fever\*" OR SU "Rift Valley Fever\*" OR KW "Rift Valley Fever"
- S48 DE "Poliomyelitis"
- S49 TI ( (Polio or Poliomyelit\*) ) OR SU ( (Polio or Poliomyelit\*) ) OR KW ( (Polio or Poliomyelit\*) )
- S50 TI ( (listeria\* or listeriosis\*) ) OR SU ( (listeria\* or listeriosis\*) ) OR KW ( (listeria\* or listeriosis\*) )
- S51 TI Enterovir\* OR SU Enterovir\* OR KW Enterovir\*
- S52 DE "Hepatitis"
- S53 TI hepatitis\* OR SU hepatitis\* OR KW hepatitis\*
- S54 TI ( (Mumps\* or parotiti\*) ) OR SU ( (Mumps\* or parotiti\*) ) OR KW ( (Mumps\* or parotiti\*) )
- S55 DE "Meningitis" OR DE "Bacterial Meningitis"

S56 TI ( (Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\*) ) OR SU ( (Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\*) ) OR KW ( (Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\*) )  
 S57 DE "Measles"  
 S58 TI Measles\* OR SU Measles\* OR KW Measles\*  
 S59 TI "Yellow Fever\*" OR SU "Yellow Fever\*" OR KW "Yellow Fever\*"  
 S60 TI zika\* OR SU zika\* OR KW zika\*  
 S61 TI "Japanese Encephalit\*" OR SU "Japanese Encephalit\*" OR KW "Japanese Encephalit\*"  
 S62 TI salmonella\* OR SU salmonella\* OR KW salmonella\*  
 S63 TI Marburgvir\* OR SU Marburgvir\* OR KW Marburgvir\*  
 S64 TI ( (mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*") ) OR SU ( (mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*") ) OR KW ( (mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*") )  
 S65 TI ( ("Hemorrhagic Fever" and Crimean) ) OR SU ( ("Hemorrhagic Fever" and Crimean) ) OR KW ( ("Hemorrhagic Fever" and Crimean) )  
 S66 TI ( (Dysenter\* or Shigella\*) ) OR SU ( (Dysenter\* or Shigella\*) ) OR KW ( (Dysenter\* or Shigella\*) )  
 S67 TI ( (Nipah\* or Henipavirus) ) OR SU ( (Nipah\* or Henipavirus) ) OR KW ( (Nipah\* or Henipavirus) )  
 S68 TI Legionella\* OR SU Legionella\* OR KW Legionella\*  
 S69 TI ( (lepra\* or lepro\*) ) OR SU ( (lepra\* or lepro\*) ) OR KW ( (lepra\* or lepro\*) )  
 S70 TI pneumonia\* OR SU pneumonia\* OR KW pneumonia\*  
 S71 S31 OR S32 OR S33 OR S34 OR S35 OR S36 OR S37 OR S38 OR S39 OR S40 OR S41 OR S42 OR S43 OR S44 OR S45 OR S46 OR S47 OR S48 OR S49 OR S50 OR S51 OR S52 OR S53 OR S54 OR S55 OR S56 OR S57 OR S58 OR S59 OR S60 OR S61 OR S62 OR S63 OR S64 OR S65 OR S66 OR S67 OR S68 OR S69 OR S70  
 S72 S30 AND S71  
 S73 PT (systematic review or meta-analysis)  
 S74 (DE "Systematic Review") OR (DE "Meta Analysis")  
 S75 TI ( ((systematic\* N3 (review\* or overview\*)) or (methodologic\* N3 (review\* or overview\*))) ) OR AB ( ((systematic\* N3 (review\* or overview\*)) or (methodologic\* N3 (review\* or overview\*))) ) OR SU ( ((systematic\* N3 (review\* or overview\*)) or (methodologic\* N3 (review\* or overview\*))) )



- S76 TI ( (quantitative N3 (review\* or overview\* or syntheses\*)) ) OR AB ( (quantitative N3 (review\* or overview\* or syntheses\*)) ) OR SU ( (quantitative N3 (review\* or overview\* or syntheses\*)) )
- S77 TI ( ((integrative N3 (review\* or overview\*)) or (collaborative N3 (review\* or overview\*))) ) OR AB ( ((integrative N3 (review\* or overview\*)) or (collaborative N3 (review\* or overview\*))) ) OR SU ( ((integrative N3 (review\* or overview\*)) or (collaborative N3 (review\* or overview\*))) )
- S78 TI ( (handsearch\* or hand search\*) ) OR AB ( (handsearch\* or hand search\*) ) OR SU ( (handsearch\* or hand search\*) )
- S79 TI ( (mantel haenszel or peto or der simonian or dersimonian or fixed effect\* or latin square\*) ) OR AB ( (mantel haenszel or peto or der simonian or dersimonian or fixed effect\* or latin square\*) ) OR SU ( (mantel haenszel or peto or der simonian or dersimonian or fixed effect\* or latin square\*) )
- S80 TI ( (met analy\* or metanaly\* or technology assessment\* or HTA or HTAs or technology overview\* or technology appraisal\*) ) OR AB ( (met analy\* or metanaly\* or technology assessment\* or HTA or HTAs or technology overview\* or technology appraisal\*) ) OR SU ( (met analy\* or metanaly\* or technology assessment\* or HTA or HTAs or technology overview\* or technology appraisal\*) )
- S81 TI ( (meta regression\* or metaregression\*) ) OR AB ( (meta regression\* or metaregression\*) ) OR SU ( (meta regression\* or metaregression\*) )
- S82 TI ( (meta-analy\* or metaanaly\* or systematic review\* or biomedical technology assessment\* or bio-medical technology assessment\*) ) OR AB ( (meta-analy\* or metaanaly\* or systematic review\* or biomedical technology assessment\* or bio-medical technology assessment\*) ) OR SU ( (meta-analy\* or metaanaly\* or systematic review\* or biomedical technology assessment\* or bio-medical technology assessment\*) )
- S83 TI ( (medline or cochrane or pubmed or medlars or embase or cinahl) ) OR AB ( (medline or cochrane or pubmed or medlars or embase or cinahl) ) OR SU ( (medline or cochrane or pubmed or medlars or embase or cinahl) )
- S84 SO (cochrane or (health N2 technology assessment) or evidence report)
- S85 TI ( ("umbrella review\*" or "scoping review\*") ) OR AB ( ("umbrella review\*" or "scoping review\*") ) OR SU ( ("umbrella review\*" or "scoping review\*") )

- S86 TI (multi\* N2 paramet\* N2 evidence N2 synthesis) OR AB (multi\* N2 paramet\* N2 evidence N2 synthesis) OR SU (multi\* N2 paramet\* N2 evidence N2 synthesis)
- S87 TI (multiparamet\* N2 evidence N2 synthesis) OR AB (multiparamet\* N2 evidence N2 synthesis) OR SU (multiparamet\* N2 evidence N2 synthesis)
- S88 TI (multi-paramet\* N2 evidence N2 synthesis) OR AB (multi-paramet\* N2 evidence N2 synthesis) OR SU (multi-paramet\* N2 evidence N2 synthesis)
- S89 S73 OR S74 OR S75 OR S76 OR S77 OR S78 OR S79 OR S80 OR S81 OR S82 OR S83 OR S84 OR S85 OR S86 OR S87 OR S88
- S90 S72 AND S89

## Web of Science

Fecha de búsqueda: 01 de febrero de 2024.

- 1 TI=(simulat\*)
- 2 TI=("big data")
- 3 TI=("machine learning")
- 4 TI=("artificial intelligence\*" or AI)
- 5 TI=("deep learning" or "hierarch\* learning")
- 6 TI((((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) Near/2 learn\*))
- 7 TI=("expert system\*")
- 8 TI=("Decision Tree\*")
- 9 TI=("support vecto\*")
- 10 TI=("Random Forest\*")
- 11 TI(("neural network\*" or conectionist\* or perceptron\*))
- 12 TS=((Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*"))Results
- 13 TS((((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) Near/1 (algorithm\* or model\*)))
- 14 TI=(Algorithm\* or "virtual realit\*" or model\*)
- 15 #14 OR #13 OR #12 OR #11 OR #10 OR #9 OR #8 OR #7 OR #6 OR #5 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1

- 16 TI=((decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\*)) OR AB=((decision\* or Preparedness\* or ((respon\* or strateg\* or planning\*) Near/4 (pandem\* or outbreak\* or epidemic\* or mitigat\*))))
- 17 TI=((policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" Near/2 (official\* or practitioner\* or professional\*)))) OR AB=((policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" Near/2 (official\* or practitioner\* or professional\*))))
- 18 #16 OR #17
- 19 #18 AND #15
- 20 TI=((Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*"))
- 21 (((((TI=((dengue\* or ((Break-Bone\* or breakbone\*) Near/1 fever\*)))) OR TI=(cholera\*)) OR TI=((SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\*)) OR TI=((H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\*)) OR TI=("tomato\* flu")) OR TI=((Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Cocksackievir\*))
- 22 (((((((TI=(Leishman\*)) OR TI=((Ebola\* or Yersinia\*)) OR TI=((Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\*)) OR TI=(Chikungunya\*)) OR TI=("Rift Valley Fever\*")) OR TI=((Polio or Poliomyelit\*)) OR TI=((listeria\* or listeriosis\*)) OR TI=(Enterovir\*)) OR TI=(hepatitis\*))
- 23 (((((((((TI=((Mumps\* or parotiti\*)) OR TI=((Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\*)) OR TI=(Measles\*)) OR TI=("Yellow Fever\*")) OR TI=(zika\*)) OR TI=("Japanese Encephalit\*")) OR TI=(salmonella\*)) OR TI=(Marburgvir\*)) OR TI=((mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*")) OR TI=((("Hemorrhagic Fever" and Crimean))) OR TI=((Dysenter\* or Shigella\*))
- 24 (((TI=((Nipah\* or Henipavirus))) OR TI=(Legionella\*)) OR TI=((lepra\* or lepro\*)) OR TI=(pneumonia\*))
- 25 #20 OR #21 OR #22 OR #23 OR #24
- 26 #25 AND #19
- 27 TI=((systematic\* Near/3 (review\* or overview\*)) or (methodologic\* Near/3 (review\* or overview\*))))
- 28 TI=((integrative Near/3 (review\* or overview\*)) or (collaborative Near/3 (review\* or overview\*))))
- 29 TI=((quantitative Near/3 (review\* or overview\* or synthes\*)))
- 30 TS=((handsearch\* or "hand search\*"))
- 31 TS=((("mantel haenszel" or peto or "der simonian" or dersimonian or "fixed effect\*" or "latin square\*"))

32 TI=((("met analy\*" or metanaly\* or "technology assessment\*" or HTA  
 or HTAs or "technology overview\*" or "technology appraisal\*"))  
 33 TS=((("meta regression\*" or metaregression\*))  
 34 TI=((meta-analy\* or metaanaly\* or "systematic review\*" or  
 "biomedical technology assessment\*" or "bio-medical  
 technology assessment\*"))  
 35 TS=((medline or cochrane or pubmed or medlars or embase or cinahl))  
 36 TI=((("umbrella review\*" or "scoping review\*"))  
 37 #27 OR #28 OR #29 OR #30 OR #31 OR #32 OR #33 OR #34 OR  
 #35 OR #36  
 38 #37 AND #26

## Cochrane library

Fecha de búsqueda: 01 de febrero de 2024.

- #1 MeSH descriptor: [Computer Simulation] explode all trees
- #2 MeSH descriptor: [Computing Methodologies] explode all trees
- #3 MeSH descriptor: [Medical Informatics] explode all trees
- #4 MeSH descriptor: [Medical Informatics Applications] explode all trees
- #5 MeSH descriptor: [Decision Support Systems, Clinical] explode all trees
- #6 MeSH descriptor: [Information Systems] explode all trees
- #7 MeSH descriptor: [Decision Making, Computer-Assisted] explode all trees
- #8 MeSH descriptor: [Artificial Intelligence] explode all trees
- #9 MeSH descriptor: [*Machine learning*] explode all trees
- #10 (simulat\* or simulat\* or "big data" or "*machine learning*" or ("artificial intelligence\*" or AI) "deep learning" or "hierarch\* learning" or "expert system\*" or "*Decision Tree*\*" or "support vecto\*" or "*Random Forest*\*" or ("neural network\*" or coneccionist\* or perceptron\*) or Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*" or ((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) Near/2 learn\*) or ((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or immunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) Near/1 (algorithm\* or model\*)))ti,ab,kw (Word variations have been searched)
- #11 #1 or #2 or #3 or #4 or #5 or #6 or #7 or #8 or #9 or #10

- #12 MeSH descriptor: [Decision Making] explode all trees
- #13 MeSH descriptor: [Decision Making, Organizational] explode all trees
- #14 MeSH descriptor: [Decision Theory] explode all trees
- #15 MeSH descriptor: [Decision Support Techniques] explode all trees
- #16 MeSH descriptor: [Forecasting] explode all trees
- #17 #12 or #13 or #14 or #15 or #16
- #18 #11 and #17 in Cochrane Reviews, Cochrane Protocols

## International HTA Database (INAHTA)

Fecha de búsqueda: 07 de febrero de 2024.

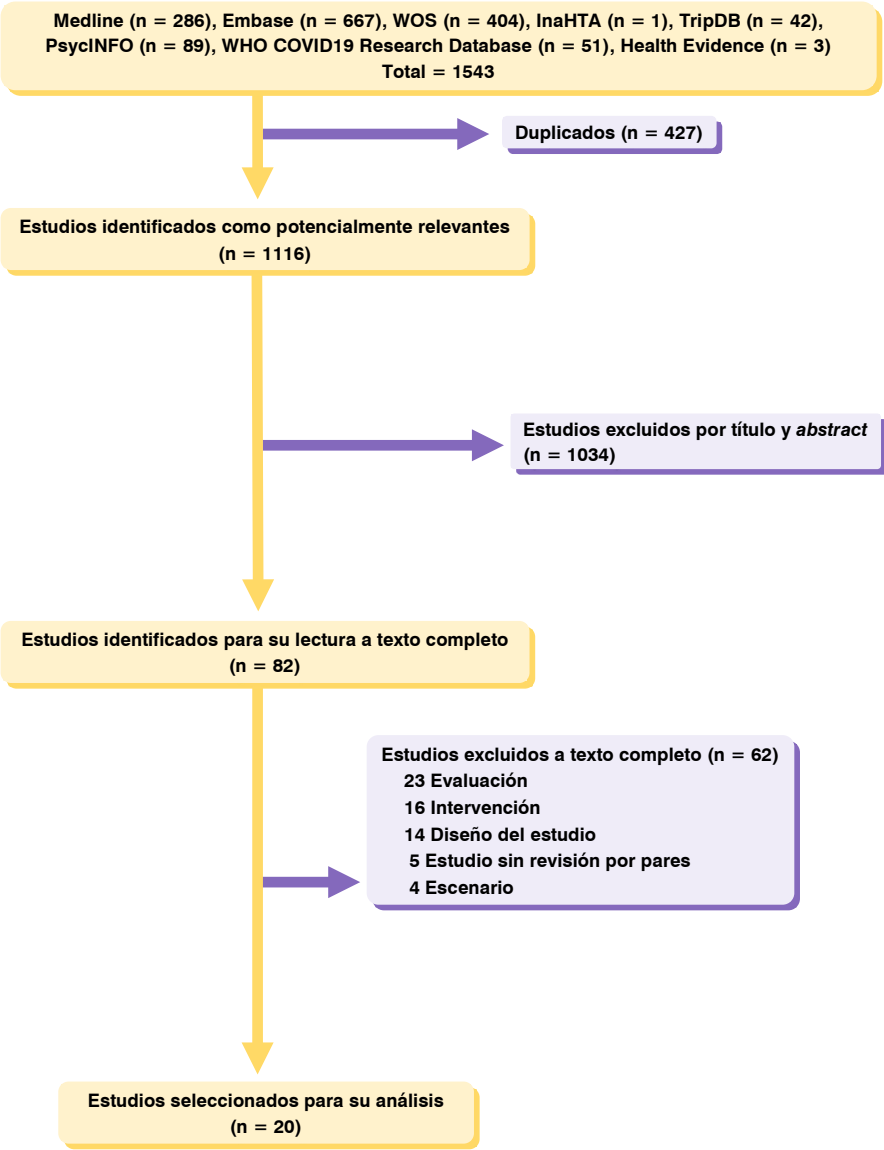
(((((simulat\* OR "artificial intelligence\*" or AI OR "big data" OR "deep learning" or "hierarch\* learning" or (((supervised or unsupervised or "semi supervised" or reinforcement or centralised or federated or collaborative) AND learn\*)) OR "expert system\*" OR "*Decision Tree*\*" OR "*Decision Tree*\*" OR "support vecto\*" OR "*Random Forest*\*" OR ((("neural network\*" or coneccionist\* or perceptron\*)) OR ((Montecarlo\* or "Monte Carlo\*" or "system dynamic\*")) OR (((Statistic\* or probabili\* or polynom\* or "two parameter" or binom\* or likelihood\* or economic\* or hazard\* or cox\* or linear\* or logistic\* or logit\* or theor\* or experiment\* or mathemat\* or disease\* or epidemic\* or epidemiologic\* or biologic\* or genetic\* or inmunolo\* or transtheor\* or computa\* or predict\* or bayes\* or Neighbor\* or Neighbour\* or pandemic\* or outbreak\* or decision\* or esembl\*) AND (algorithm\* or model\*))) OR (Algorithm\* or "virtual realit\*" or model\*))) AND (decision\* or Preparedness\* or respon\* or strateg\* or planning\* or ((policy\* or policies\* or manager\* or director\* or authorit\* or leader\* or planner\* or stakeholder\* or government\* or politic\* or ("public health" AND (official\* or practitioner\* or professional\*)))))) AND (Outbreak\* or epidemic\* or pandem\* or "health emergenc\*" or dengue\* or Break-Bone\* or breakbone\* OR cholera\* or SARS\* or MERS\* or COVID\* or coronavirus\* or H5N1\* or H7N9\* or H1N1\* or Influenzavir\* or "tomato\* flu" or Rhinovir\* or Syncytial\* or Adenovirid\* or Streptococc\* or Bocavir\* or Cocksackievir\* or Leishman\* or Ebola\* or Yersinia\* or Malaria\* or "Marsh Fever\*" or "Remittent Fever\*" or Paludism\* or Plasmodium\* or Chikungunya\* or "Rift Valley Fever\*" or Polio or Poliomyelit\* or listeria\* or listeriosis\* or Enterovir\* or hepatitis\* or Mumps\* or parotiti\* or Meningiti\* or Pachymeningit\* or Neisseria\* or Measles\* or "Yellow Fever\*" or zika\* or "Japanese Encephalit\*" or salmonella\* or Marburgvir\* or mpox\* or monkeypox\* or "monkey pox\*" or "Hemorrhagic Fever" or Dysenter\* or Shigella\* or Nipah\* or Henipavirus or Legionella\* or lepra\* or lepro\* or pneumonia\*) ) [Title] 1

## TRIP Database

Fecha de búsqueda: 07 de febrero de 2024.

(title:simulat\* OR title:"artificial intelligence\*" OR title:ai OR title:"big data" OR title:"deep learning" OR title:"hierarch\* learning" OR ((title:supervised OR title:unsupervised OR title:"semi supervised" OR title:reinforcement OR title:centralised OR title:federated OR title:collaborative) AND title:learn\*) OR title:"expert system\*" OR title:"*Decision Tree*\*" OR title:"*Decision Tree*\*" OR title:"support vecto\*" OR title:"*Random Forest*\*" OR title:"neural network\*" OR title:conexionist\* OR title:perceptron\* OR title:montecarlo\* OR title:"monte carlo\*" OR title:"system dynamic\*" OR title:algorithm\* OR title:"virtual realit\*" OR title:model\*) AND (title:outbreak\* OR title:epidemic\* OR title:pandem\* OR title:"health emergenc\*")) 42 RS 8 Ongoing SR

# Anexo 4. Diagrama de flujo



# Anexo 5. Estudios excluidos

Tabla 7. Estudios excluidos a texto completo	
Estudios excluidos a texto completo por intervención	
1.	Arji G, Ahmadi H, Avazpoor P, Hemmat M. Identifying resilience strategies for disruption management in the healthcare supply chain during COVID-19 by digital innovations: A systematic literature review. <i>Informatics Med Unlocked</i> . 2023; 38(1):101199. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101199">https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101199</a>
2.	Lee VJ, Lye DC, Wilder-Smith A. Combination strategies for pandemic influenza response - a systematic review of mathematical modeling studies. <i>BMC Med</i> . 2009;7:76. DOI: 10.1186/1741-7015-7-76
3.	Ortiz-Barrios MA, Coba-Blanco DM, Alfaro-Saiz J-J, Stand-Gonzalez D. Process Improvement Approaches for Increasing the Response of Emergency Departments against the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. <i>Int J Environ Res Public Health</i> . 2021;18(16):8814. DOI: 10.3390/ijerph18168814
4.	Syeda HB, Syed M, Sexton KW, Syed S, Begum S, Syed F, et al., Role of <i>Machine learning</i> Techniques to Tackle the COVID-19 Crisis: Systematic Review. <i>JMIR Med Inform</i> . 2021;9(1): e23811. DOI: 10.2196/23811
5.	Principe AS, Filho ASN, Machado BAS, Barbosa JD V, Winkler I, Ferreira C V. Decision Support Frameworks in Public Health Emergencies: A Systematic Review of Dynamic Models in Complex Contexts. <i>Int J Environ Res Public Health</i> . 2023;20(17):6685.DOI: 10.3390/ijerph20176685
6.	Coclite D, Napoletano A, Gianola S, Del Monaco A, D'Angelo D, Fauci A, et al., Face Mask Use in the Community for Reducing the Spread of COVID-19: A Systematic Review. <i>Front Med</i> . 2020;7:594269. DOI: <a href="https://doi.org/10.3389/fmed.2020.594269">https://doi.org/10.3389/fmed.2020.594269</a>
7.	Kobres P-Y, Chretien J-P, Viboud C, Biggerstaff M, Quandelacy T, Whung P-Y, et al., Zika virus forecasting and prediction studies: A systematic review and evaluation of their utility during a global health emergency. <i>Am J Trop Med Hyg</i> . 2018;99:4(514). Suppl. DOI: <a href="https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007451">https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007451</a>
8.	Chang Z, Zhan Z, Zhao Z, You Z, Liu Y, Yan Z, et al., Application of artificial intelligence in COVID-19 medical area: a systematic review. <i>J Thorac Dis</i> . 2021;13(12):7034–53. DOI: 10.21037/jtd-21-747
9.	Leung XY, Islam RM, Adhami M, Ilic D, McDonald L, Palawaththa S, et al., A systematic review of dengue outbreak prediction models: Current scenario and future directions. <i>PLoS Negl Trop Dis</i> . 2023;17(2):e0010631. DOI: 10.1371/journal.pntd.0010631
10.	Giuste F Zhu Y,Naren T,Isgut M,Sha Y,Tong L,Gupte M,Wang MD. SW. Explainable Artificial Intelligence Methods in Combating Pandemics: A Systematic Review. <i>IEEE Rev Biomed Eng</i> . 2023;16:5–21. DOI: 10.1109/RBME.2022.3185953
11.	Sarker S, Jamal L, Ahmed SF, Irtisam N. Robotics and artificial intelligence in healthcare during COVID-19 pandemic: A systematic review. <i>Rob Auton Syst</i> . 2022;2(2):349-353. DOI: 10.1016/j.robot.2021.103902
12.	Hatami H, Qaderi S, Shah J, Rezaeian AR, Farsi Y, Alinasab F, et al., COVID-19: National pandemic management strategies and their efficacies and impacts on the number of secondary cases and prognosis: A systematic review. <i>Int J Prev Med</i> . 2022;13:100. DOI: 10.4103/ijpvm.IJPVM_464_20
13.	Vasconcelos FT, Faddy HM, Merollini KMD, Flower RLP, Dean MM, Viennet E. Impact of natural disasters and pandemics on blood supply: A systematic review. <i>Heal Sci Rev</i> . 2023;7:1-11. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.hsr.2023.100087">https://doi.org/10.1016/j.hsr.2023.100087</a>
14.	Timbie JW, Ringel JS, Fox DS, Pillemer F, Waxman DA, Moore M, et al., Systematic review of strategies to manage and allocate scarce resources during mass casualty events. <i>Ann Emerg Med [Internet]</i> . 2013;61(6):677-689.e101. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2013.02.005
15.	Arias-Lopez MDP, Mandich V, Mosciaro M, Ratto ME, Chaparro Fresco J, Boada N, et al., [Recommendations for resource management in intensive care units during the COVID-19 pandemic]. <i>Medicina (B Aires) [Internet]</i> . 2020 [citado may 2024];80 Suppl 3:67–76. URL: <a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32658850/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32658850/</a>
16.	Erman A, Krahn MD, Hansen T, Wong J, Bielecki JM, Feld JJ, et al., Estimation of fibrosis progression rates for chronic hepatitis C: a systematic review and meta-analysis update. <i>BMJ Open</i> . 2019;9(11):e027491. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-027491



**Tabla 7. Estudios excluidos a texto completo (continuación)**

Estudios excluidos a texto completo por evaluación	
1.	Baharom M, Ahmad N, Hod R, Manaf MRA. Dengue Early Warning System as Outbreak Prediction Tool: A Systematic Review. Risk Manag Healthc Policy. 2022;15:871–86. DOI: 10.2147/RMHP.S361106
2.	Sylvestre E, Joachim C, Cecilia-Joseph E, Bouzille G, Campillo-Gimenez B, Cuggia M, et al., Data-driven methods for dengue prediction and surveillance using real-world and Big Data: A systematic review. PLoS Negl Trop Dis. 2022;16(1):e0010056. DOI: 10.1371/journal.pntd.0010056
3.	Ajagbe SA AMO. Deep learning techniques for detection and prediction of pandemic diseases: a systematic literature review. Multimed Tools Appl. 2023;1–35. DOI: 10.1007/s11042-023-15805-z
4.	Juneau C-E, Briand A-S, Collazzo P, Siebert U, Pueyo T. Effective contact tracing for COVID-19: A systematic review. Glob Epidemiol. 2023;5:100103. DOI: 10.1016/j.gloepi.2023.100103
5.	Palermo MB, Policarpo LM, Costa CA, Righi RR. Tracking <i>machine learning</i> models for pandemic scenarios: a systematic review of <i>machine learning</i> models that predict local and global evolution of pandemics. Netw Model Anal Heal Informatics Bioinforma. 2022;11(1):40. DOI: 10.1007/s13721-022-00384-0
6.	Baharom M, Ahmad N, Hod R, Arsad FS, Tangang F. The Impact of Meteorological Factors on Communicable Disease Incidence and Its Projection: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(21):11117. DOI: 10.3390/ijerph182111117
7.	Xin Y, Li H, Zhou Y, Yang Q, Mu W, Xiao H, et al., The accuracy of artificial intelligence in predicting COVID-19 patient mortality: a systematic review and meta-analysis. BMC Med Inform Decis Mak. 2023;23(1):155. DOI: 10.1186/s12911-023-02256-7
8.	Iqbal S, Ahmad S, Bano B, Akkour K, Alghamdi MAA, Alotthri AM. A Systematic Review: Role of Artificial Intelligence During the COVID-19 Pandemic in the Healthcare System. Int J Intell Inf Technol. 2021;17(1):1–18. DOI:10.4018/IJIT.2021010101
9.	Alhasan M HM. Digital imaging, technologies and artificial intelligence applications during COVID-19 pandemic. Comput Med Imaging Graph. 2021;91:101933. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2021.101933
10.	Lim A-Y, Jafari Y, Caldwell JM, Clapham HE, Gaythorpe KAM, Hussain-Alkhateeb L, et al., A systematic review of the data, methods and environmental covariates used to map Aedes-borne arbovirus transmission risk. BMC Infect Dis. 2023;23(1):708. DOI: 10.1186/s12879-023-08717-8
11.	Haafza LA, Awan MJ, Abid A, Yasin A, Nobanee H, Farooq MS. Big data covid-19 systematic literature review: Pandemic crisis. Electronics. 2021;10(24):3125. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics10243125
12.	Piccarozzi M, Aquilani B. The role of Big Data in the business challenge of Covid-19: a systematic literature review in managerial studies. Procedia Comput Sci. 2022;200:1746–55. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.375
13.	Carrasco LR, Jit M, Chen MI, Lee VJ, Milne GJ, Cook AR. Trends in parameterization, economics and host behaviour in influenza pandemic modelling: A review and reporting protocol. Emerg Themes Epidemiol. 2013;10(1):3. DOI: 10.1186/1742-7622-10-3
14.	Islam MN, Inan TT, Rafi S, Akter SS, Sarker IH, Islam AKMN. A Systematic Review on the Use of AI and ML for Fighting the COVID-19 Pandemic. IEEE Trans Artif Intell. 2020;1(3):258–70. DOI: 10.1109/TAI.2021.3062771
15.	Bottino F, Tagliente E, Pasquini L, Di Napoli A, Lucignani M, Figà-talamanca L, et al., COVID mortality prediction with <i>machine learning</i> methods: A systematic review and critical appraisal. J Pers Med. 2021;11(9):893. DOI: 10.3390/jpm11090893
16.	Heslop DJ, Chughtai AA, Bui CM, MacIntyre CR. Publicly available <i>software</i> tools for decision-makers during an emergent epidemic-Systematic evaluation of utility and usability. Epidemics. 2017;21:1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.epidem.2017.04.002
17.	Chevalier V, Tran A, Durand B. Predictive modeling of West Nile virus transmission risk in the Mediterranean Basin: how far from landing?. Int J Environ Res Public Health. 2013;11(1):67–90. DOI: 10.3390/ijerph110100067
18.	Yin S, Ren C, Shi Y, Hua J, Yuan H-Y, Tian L-W. A Systematic Review on Modeling Methods and Influential Factors for Mapping Dengue-Related Risk in Urban Settings. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(22):15265. DOI: 10.3390/ijerph192215265
19.	Pujante-Otalora L, Campos M, Juarez JM. C-SB. The use of networks in spatial and temporal computational models for outbreak spread in epidemiology: A systematic review. J Biomed Inform. 2023;143:104422. DOI: 10.1016/j.jbi.2023.104422
20.	Baharom M, Soffian SSS, Peng CS, Baharudin MH, Mirza U, Madrim MF, et al., Projecting Malaria Incidence Based on Climate Change Modeling Approach: A Systematic Review. Open Access Maced J Med Sci. 2022;10:665–74. DOI: 10.3889/oamjms.2022.10141
21.	Rehman A, Iqbal MA, Xing H, Ahmed I. COVID-19 Detection Empowered with <i>Machine learning</i> and Deep Learning Techniques: A Systematic Review. Appl Sci. 2021;11(8):3414. DOI: https://doi.org/10.3390/app11083414
22.	Costantino V, Kunasekaran MP, Chughtai AA, MacIntyre CR. How Valid Are Assumptions About Re-emerging Smallpox? A Systematic Review of Parameters Used in Smallpox Mathematical Models. Mil Med. 2018;183(7-8 PG-200–207):e200–7. DOI: 10.1093/milmed/usx092
23.	Billah MA, Miah MM, Khan MN. Reproductive number of coronavirus: A systematic review and meta-analysis based on global level evidence. PLoS One. 2020;15(11):e0242128. DOI: 10.1371/journal.pone.0242128

**Tabla 7. Estudios excluidos a texto completo (continuación)**

Estudios excluidos a texto completo por escenario	
1.	Dhaoui I, Van Bortel W, Arsevska E, Hautefeuille C, Alonso ST, Kleef E V. Mathematical modelling of COVID-19: a systematic review and quality assessment in the early epidemic response phase. <i>Int J Infect Dis.</i> 2022;116:S110. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.12.260">https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.12.260</a>
2.	Mendo IR, Marques G, de la Torre Diez I, Lopez-Coronado M, Martin-Rodriguez F. <i>Machine learning</i> in Medical Emergencies: a Systematic Review and Analysis. <i>J Med Syst.</i> 2021;45(10):88. DOI: 10.1007/s10916-021-01762-3
3.	Dabbagh R, Jamal A, Temsah M-H, Masud JHB, Titi M, Amer Y, et al., <i>Machine learning</i> models for predicting diagnosis or prognosis of COVID-19: A systematic review. <i>Comput Methods Programs Biomed.</i> 2021;205:105993. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.105993
4.	Sesay M V, Salako K V, Kakaï RG. <i>Machine learning</i> based modeling of malaria: a systematic review. <i>BMJ Glob Heal.</i> 2023;8(Suppl.10):A88.2-A88. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2023-EDC.215">http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2023-EDC.215</a>
Estudios excluidos a texto completo por preprint	
1.	Cuomo-Dannenburg G, McCain K, McCabe R, Unwin HJT, Doohan P, Nash RK, et al., Marburg virus disease outbreaks, mathematical models, and disease parameters: a systematic review. <i>Lancet Infect Dis.</i> 2024;24(5):e307-e317. DOI: 10.1016/S1473-3099(23)00515-7
2.	Alabool H, Alarabiat D, Abualigah L, Habib M, Khasawneh AM, Alshinwan M, et al., Artificial intelligence techniques for Containment COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. 2020. DOI: <a href="https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30432/v1">https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30432/v1</a>
3.	Azam JM, Pang X, Are EB, Pulliam JRC, Ferrari MJ. Models and modelling practices for assessing the impact of outbreak response interventions to human vaccine-preventable diseases (1970-2019) - A systematic review. <i>medRxiv.</i> 2022. DOI: <a href="https://doi.org/10.1101/2022.05.27.22275642">https://doi.org/10.1101/2022.05.27.22275642</a>
4.	de Wit M, Martins AD, Delecroix C, Heesterbeek H, Bosch QT. Mechanistic models for West Nile Virus transmission: A systematic review of features, aims, and parameterisation. <i>Proc Biol Sci.</i> 2024. DOI: 10.1098/rspb.2023.2432
5.	Amimo F, Lambert B, Magit A, Hashizume M. The potential impact of the COVID-19 pandemic on HIV, tuberculosis, and malaria control in Africa: a systematic review of modelling studies and population surveys. <i>Res Sq.</i> 2020. DOI: 10.21203/rs.3.rs-103235/v1
Estudios excluidos a texto completo por diseño de estudio	
1.	Khan JI, Khan J, Ali F, Ullah F, Bacha J, Lee S. Artificial Intelligence and Internet of Things (AI-IoT) Technologies in Response to COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. <i>IEEE ACCESS.</i> 2022;10:62613-60. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3181605
2.	Thangaraju P, Sree Sudha TY, Velmurugan H, Thangaraju E, Chirumamilla K, Chakrabarti T, et al., A Registry-based Audit of a Current Situation of Clinical Research in COVID-19 Using Artificial Intelligence Techniques: A Systematic Review. <i>Coronaviruses.</i> 2023;4(4):15-21. DOI: 10.2174/2666796704666230908124854
3.	Manoj A, Shweta A. A systematic review on artificial intelligence/deep learning applications and challenges to battle against covid-19 pandemic. <i>Disaster Adv.</i> 2021;14(8):90-9. DOI: 10.25303/148da9021
4.	Nsoesie EO, Brownstein JS, Ramakrishnan N, Marathe M V. A systematic review of studies on forecasting the dynamics of influenza outbreaks. <i>Influenza Other Respi Viruses.</i> 2014;8(3):309-16. DOI: 10.1111/irv.12226
5.	Undurraga EA, Halasa YA, Shepard DS. Use of expansion factors to estimate the burden of dengue in Southeast Asia: a systematic analysis. <i>PLoS Negl Trop Dis.</i> 2013;7(2):e2056. DOI: 10.1371/journal.pntd.0002056
6.	Nussbaumer-Streit B, Mayr V, Dobrescu AI, Chapman A, Persad E, Klerings I, et al., Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review. <i>Cochrane Database Syst Rev.</i> 2020;4(4):CD013574. DOI: 10.1002/14651858.CD013574
7.	Alabool H, Alarabiat D, Abualigah L, Habib M, Khasawneh AM, Alshinwan M, et al., Artificial intelligence techniques for Containment COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. 2020. DOI: <a href="https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30432/v1">https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30432/v1</a>
8.	Espinosa O, Mora L, Sanabria C, Ramos A, Rincon D, Bejarano V, et al., Predictive models for health outcomes due to SARS-CoV-2, including the effect of vaccination: a systematic review. <i>Syst Rev.</i> 2024;13(1):30. DOI: 10.1186/s13643-023-02411-1
9.	Pakaya R, Daniel D, Widayani P, Utarini A. Spatial model of Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) risk: scoping review. <i>BMC Public Health.</i> 2023;23(1):2448. DOI: 10.1186/s12889-023-17185-3

**Tabla 7. Estudios excluidos a texto completo (continuación)**

Estudios excluidos a texto completo por diseño de estudio	
10.	Nixon K, Jindal S, Parker F, Reich NG, Ghobadi K, Lee EC, et al., An Evaluation of Prospective COVID-19 Modeling: From Data to Science Translation. Lancet Digit Health 2022 Oct;4(10):e738-e747. DOI: 10.1016/S2589-7500(22)00148-0
11.	Duarte A, Walker S, Metry A, Wong R, Panovska-Griffiths J, Sculpher M. Jointly Modelling Economics and Epidemiology to Support Public Policy Decisions for the COVID-19 Response: A Review of UK Studies. Pharmacoeconomics. 2021;39(8):879–87. DOI: 10.1007/s40273-021-01045-2
12.	Sawers L, Stillwaggon E. Concurrent sexual partnerships do not explain the HIV epidemics in Africa: a systematic review of the evidence. J Int AIDS Soc. 2010;13:34. DOI: 10.1186/1758-2652-13-34
13.	Liu L, Zhang Z, Wang H, Wang S, Zhuang S, Duan J. Comparing modelling approaches for the estimation of government intervention effects in COVID-19: Impact of voluntary behavior changes. PLoS One. 2023;18(2):e0276906. DOI: 10.1371/journal.pone.0276906
14.	Veettil SK, Schwerer L, Kategeaw W, Toth D, Samore MH, Hutubessy R, et al., Scoping review of modelling studies assessing the impact of disruptions to essential health services during COVID-19. BMJ Open. 2023;13(9):e071799. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-071799

## Anexo 6. Calidad de los estudios incluidos

Tabla 8. Valoración de la calidad de las revisiones sistemáticas incluidas con la herramienta AMSTAR2 (I)					
Referencia	Smith <i>et al.</i> , 2023 (41)	Singh <i>et al.</i> , 2023(25)	Zhang <i>et al.</i> , 2022 (42)	Wynants <i>et al.</i> , 2022 (37)	Saleem <i>et al.</i> , 2022 (38)
¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes PICO/SPICE?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?	Sí parcial	Sí parcial	Sí	Sí	Sí parcial
¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?	No	No	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?	No	No	No	No	No
¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con suficiente detalle?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos en la revisión?	Sí	No	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión reportaron las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión?	No	No	No	No	No
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión usaron métodos apropiados para la combinación estadística de resultados?	No MA	Sí	No MA	No MA	No MA
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión evaluaron el impacto potencial del riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados del metanálisis u otra síntesis de evidencia?	No MA	Sí	No MA	No MA	No MA
¿Los autores de la revisión consideraron el riesgo de sesgo de los estudios individuales al interpretar/discutir los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y discutieron cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Si se realizó síntesis cuantitativa, ¿los autores de la revisión llevaron a cabo una adecuada investigación del sesgo de publicación (sesgo de estudio pequeño) y discutieron su probable impacto en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión informaron de cualquier fuente potencial de conflicto de intereses, incluyendo cualquier financiamiento recibido para llevar a cabo la revisión?	Sí	No	Sí	Sí	Sí
<b>VALORACIÓN GLOBAL DE LA CALIDAD</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>

**Tabla 9. Valoración de la calidad de las revisiones sistemáticas incluidas con la herramienta AMSTAR2 (II)**

Referencia	Kimani <i>et al.</i> , 2022 (43)	Aguar <i>et al.</i> , 2022 (44)	Klein <i>et al.</i> , 2022 (45)	Shakeel <i>et al.</i> , 2021 (46)	Lorig <i>et al.</i> , 2021 (47)
¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes PICO/SPICE?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?	Sí parcial	Sí parcial	Sí	Sí	Sí parcial
¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?	No	No	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?	Sí	No	Sí	Sí	No
¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?	No	No	No	No	No
¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con suficiente detalle?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos en la revisión?	Sí	No	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión reportaron las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión?	No	No	No	No	No
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión usaron métodos apropiados para la combinación estadística de resultados?	No MA	Sí	No MA	No MA	No MA
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión evaluaron el impacto potencial del riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados del metanálisis u otra síntesis de evidencia?	No MA	Sí	No MA	No MA	No MA
¿Los autores de la revisión consideraron el riesgo de sesgo de los estudios individuales al interpretar/discutir los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y discutieron cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Si se realizó síntesis cuantitativa, ¿los autores de la revisión llevaron a cabo una adecuada investigación del sesgo de publicación (sesgo de estudio pequeño) y discutieron su probable impacto en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión informaron de cualquier fuente potencial de conflicto de intereses, incluyendo cualquier financiamiento recibido para llevar a cabo la revisión?	Sí	No	Sí	Sí	Sí
<b>VALORACIÓN GLOBAL DE LA CALIDAD</b>	<b>MODERADA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>

**Tabla 10. Valoración de la calidad de las revisiones sistemáticas incluidas con la herramienta AMSTAR2 (III)**

Referencia	Payedimarrí <i>et al.</i> , 2021 (48)	Ozsezer <i>et al.</i> , 2021 (49)	Hoyos <i>et al.</i> , 2021 (50)	Dogan <i>et al.</i> , 2021 (51)	Eunice <i>et al.</i> , 2021 (39)
¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes PICO/SPICE?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?	Sí	Sí parcial	Sí parcial	Sí	Sí parcial
¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?	Sí	Sí	No	Sí	No
¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?	Sí	No	No	Sí	No
¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?	No	No	No	No	No
¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con suficiente detalle?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos en la revisión?	Sí	Sí	No	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión reportaron las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión?	No	No	No	No	No
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión usaron métodos apropiados para la combinación estadística de resultados?	No MA	No MA	No MA	No MA	No MA
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión evaluaron el impacto potencial del riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados del metanálisis u otra síntesis de evidencia?	No MA	No MA	No MA	No MA	No MA
¿Los autores de la revisión consideraron el riesgo de sesgo de los estudios individuales al interpretar/discutir los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y discutieron cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Si se realizó síntesis cuantitativa, ¿los autores de la revisión llevaron a cabo una adecuada investigación del sesgo de publicación (sesgo de estudio pequeño) y discutieron su probable impacto en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión informaron de cualquier fuente potencial de conflicto de intereses, incluyendo cualquier financiamiento recibido para llevar a cabo la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>VALORACIÓN GLOBAL DE LA CALIDAD</b>	<b>MODERADA</b>	<b>BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>

**Tabla 11. Valoración de la calidad de las revisiones sistemáticas incluidas con la herramienta AMSTAR2 (IV)**

Referencia	Carias <i>et al.</i> , 2019 (52)	Smith <i>et al.</i> , 2018 (53)	Wong <i>et al.</i> , 2017 (54)	Prieto <i>et al.</i> , 2012 (55)	Andraud <i>et al.</i> , 2012 (56)
¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes PICO/SPICE?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?	Sí	Sí parcial	Sí	Sí parcial	Sí parcial
¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?	No	No	Sí	No	No
¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?	No	No	Sí	No	No
¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?	No	No	No	No	No
¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con suficiente detalle?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión usaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos en la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión reportaron las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión?	No	No	No	No	No
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión usaron métodos apropiados para la combinación estadística de resultados?	No MA	No MA	No MA	No MA	No MA
Si se realizó un metanálisis, ¿los autores de la revisión evaluaron el impacto potencial del riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados del metanálisis u otra síntesis de evidencia?	No MA	No MA	No MA	No MA	No MA
¿Los autores de la revisión consideraron el riesgo de sesgo de los estudios individuales al interpretar/discutir los resultados de la revisión?	Sí	No	Sí	No	Sí
¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y discutieron cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Si se realizó síntesis cuantitativa, ¿los autores de la revisión llevaron a cabo una adecuada investigación del sesgo de publicación (sesgo de estudio pequeño) y discutieron su probable impacto en los resultados de la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Los autores de la revisión informaron de cualquier fuente potencial de conflicto de intereses, incluyendo cualquier financiamiento recibido para llevar a cabo la revisión?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>VALORACIÓN GLOBAL DE LA CALIDAD</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>	<b>CRÍTICAMENTE BAJA</b>

