

## Perspectiva

# Aplicaciones del aprendizaje automático y la informática de alto rendimiento en la era de COVID-19

Abdul Majeed <sup>1,\*</sup>  Sungchang Lee <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Gachon, Seongnam 13120, Corea

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería de Información y Electrónica, Universidad Aeroespacial de Corea, Goyang 10540, Corea

\* Correspondencia: ab09@gachon.ac.kr o abdulmajid09398@kau.kr (AM); sclee@kau.ac.kr (SL);  
Tel. : + 82-10-9503-9597 (AM)

**Abstracto:** Durante la pandemia en curso de la enfermedad del nuevo coronavirus 2019 (COVID-19), las últimas tecnologías como inteligencia artificial (IA), blockchain, paradigmas de aprendizaje (máquina, profundo, inteligente, pocos cortos, aprendizaje extremo, etc.), alto rendimiento La informática (HPC), la Internet de las cosas médicas (IoMT) y la Industria 4.0 han desempeñado un papel fundamental. Estas tecnologías ayudaron a contener la propagación de la enfermedad al predecir personas / lugares contaminados, así como pronosticar tendencias futuras. En este artículo, proporcionamos información sobre las aplicaciones de aprendizaje automático (ML) y computación de alto rendimiento (HPC) en la era de COVID-19. Discutimos los datos específicos de la persona que se están recopilando para reducir la propagación de COVID-19 y destacamos las oportunidades notables que brinda para la extracción de conocimiento aprovechando técnicas de ML y HPC de bajo costo.

(i) Uso de ML y HPC en el ciclo de vida de los datos, (ii) Uso de ML y HPC en análisis de datos COVID-19, y (iii) las aplicaciones de propósito general de ambas técnicas en la arena de COVID-19. Además, discutimos los problemas de privacidad y seguridad y la arquitectura del sistema prototipo para demostrar la investigación propuesta. Finalmente, discutimos los desafíos de los datos disponibles y destacamos los problemas que dificultan la aplicabilidad de las soluciones de ML y HPC en ellos.

**Palabras clave:** COVID-19; aprendizaje automático; computación de alto rendimiento; datos específicos de la persona; cuidado de la salud; Internet de objetos médicos; enfermedades infecciosas



**Citación:** Majeed, A.; Lee, S. Aplicaciones del aprendizaje automático y la

informática de alto rendimiento en la era de COVID-19. *Apl. Syst. Innov.* **2021**, *4*, 40.  
[https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/asi4030040)

10.3390/asi4030040

Editor académico: Andrey Chernov

Recibido: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 28 de junio de 2021

Publicado: 30 de junio de 2021

**Nota del editor:** MDPI se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

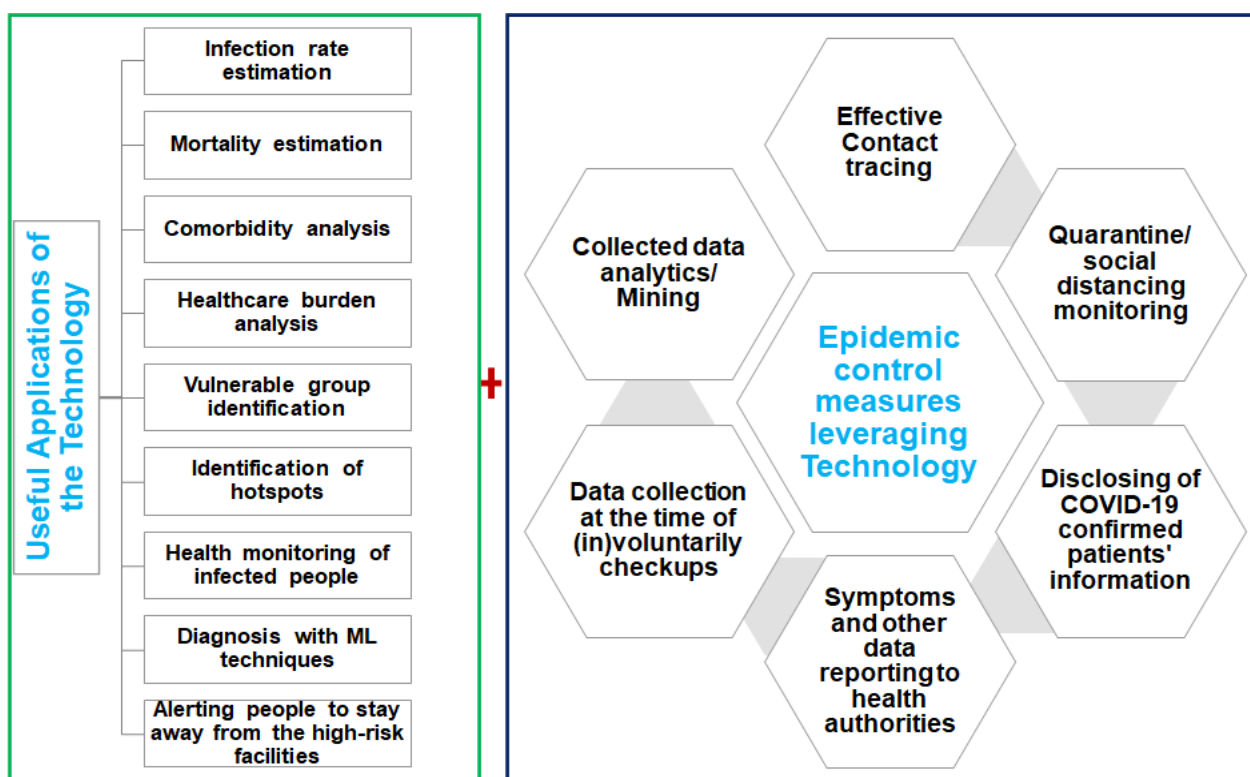


**Derechos de autor:** © 2021 por los autores. Licenciatario MDPI, Basilea, Suiza. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

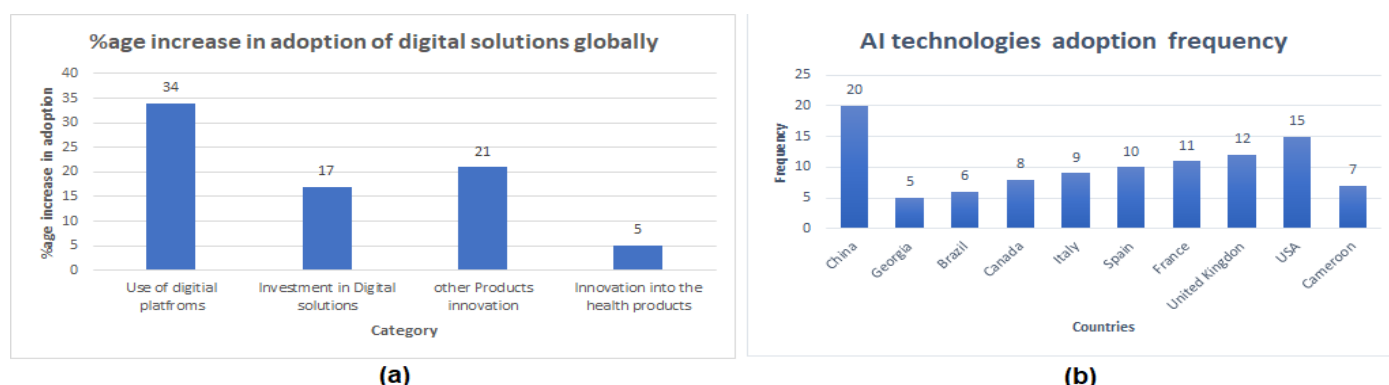
La nueva enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) ha cambiado drásticamente la era de la recopilación, el procesamiento, el análisis, el uso, la distribución y la eliminación de información. Debido a la pandemia de COVID-19, varias organizaciones recopilan una gran cantidad de datos para estimar la probabilidad de exposición o rastrear a las personas infectadas [1]. Además, esta pandemia ha aumentado la dependencia de las tecnologías digitales para analizar la movilidad de las personas y monitorear el cumplimiento de las personas con las pautas de cuarentena [2]. Además, muchas empresas han ayudado a los gobiernos con tecnologías innovadoras para controlar la crisis del COVID-19 [3]. El papel de las tecnologías avanzadas ha sido dominante en el manejo eficaz de esta pandemia. Muchos países tienen un mejor control de la pandemia al utilizar tecnología y recursos humanos simultáneamente [4]. Las características innovadoras de cada tecnología han ayudado a frenar la propagación de la enfermedad. Las características únicas de esta pandemia, como la estimación de la posibilidad de infección, la identificación de lugares potencialmente contaminados, rastreo de contactos, análisis de movilidad, modelado de flujo, intercambio de información de personas infectadas, análisis de datos, geofencing de zonas de alto riesgo, monitoreo de cumplimiento, predicción de tendencias, al estimar la probabilidad del fin de esta pandemia, la fusión de datos de fuentes heterogéneas y la adopción de tecnologías remotas han aumentado la utilización de la tecnología digital. Presentamos la taxonomía de las características de la epidemia que exigen la utilización de técnicas avanzadas como el aprendizaje automático (ML) y la computación de alto rendimiento (HPC) en la Figura 1. Estas

Las características son exclusivas de la era COVID-19 y requieren la utilización de tecnologías avanzadas para frenar la propagación. Mediante la utilización de ML y HPC, se puede lograr una mitigación y un control significativos de esta pandemia.



**Figura 1.** Taxonomía de las características de la epidemia que exigen la utilización de técnicas avanzadas como ML y HPC.

A pesar de los enormes beneficios de las tecnologías en la era COVID-19, la adopción de soluciones digitales ha sido baja, principalmente debido a problemas de privacidad [5]. Además, algunos países han adoptado soluciones digitales subestimando los requisitos de privacidad y se han obtenido resultados significativos en términos de control de enfermedades. Además, la ansiedad y las preocupaciones de las personas siguen siendo mayores en esos países. Por ejemplo, en Corea del Sur, se adoptaron datos de tarjetas de crédito, datos de CCTV, señales móviles y llamadas aleatorias para rastrear los contactos de las personas infectadas. De manera similar, China utilizó sistemas avanzados de apoyo a la toma de decisiones para controlar la enfermedad. En algunos países, se emplearon aplicaciones móviles para encontrar pacientes potencialmente sospechosos. A través de una síntesis detallada de la literatura y el análisis de múltiples aplicaciones e informes disponibles, proporcionamos las estadísticas de diez países en términos de una mayor adopción de IA durante un período de casi un año y medio en la Figura 2. Además, proporcionamos información sobre la inversión en tecnología de empresas de todo el mundo para combatir la crisis causada por la pandemia en curso [6].



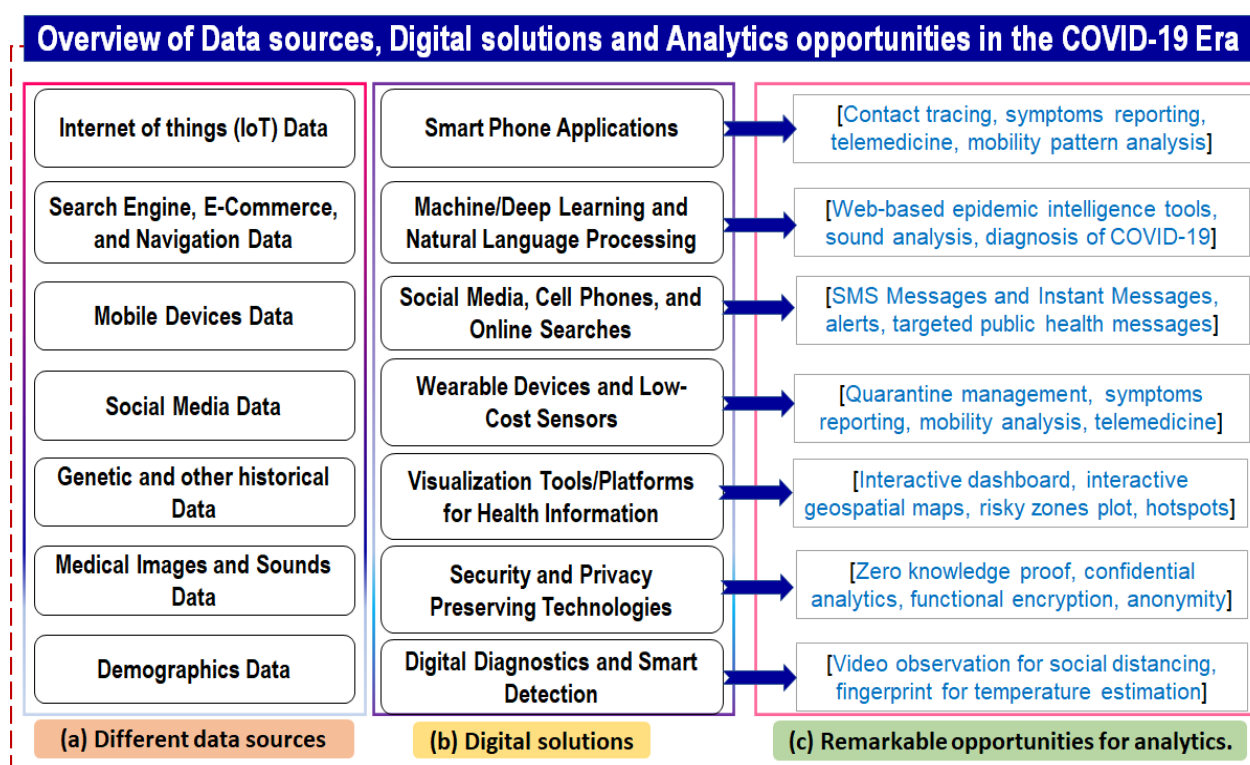
**Figura 2.** Estadísticas sobre (a) inversión en soluciones digitales y (b) la adopción de la IA en todo el mundo.

Hasta la fecha, muchos estudios han proporcionado cobertura de las aplicaciones de IA en la era de COVID-19. Sin embargo, estos estudios se han centrado principalmente en las aplicaciones generales de la tecnología en el sector de la educación, áreas industriales, sector turístico, etc. Sin embargo, un panorama concreto del uso de ML y HPC en el contexto de COVID-19 y su utilidad en la mitigación y el control de esta pandemia, no se ha discutido en estudios previos. Para abordar estos problemas, este estudio cubre las aplicaciones de ML y HPC considerando características epidémicas (es decir, medidas de control de epidemias, ciclo de vida de datos en sistemas epidémicos y aplicación general de ML y HPC). Más específicamente, destacamos el papel, la necesidad y la utilidad de las tecnologías ML y HPC en la era COVID-19. Con este fin, se muestra una descripción compacta de la fidelidad de las técnicas de ML y HPC en la era de COVID-19 con ejemplos prácticos. A través de esta perspectiva concisa,

El resto de esta perspectiva se organiza de la siguiente manera. Sección 2 proporciona una visión de los datos de las personas recopilados y procesados en la era COVID-19 de fuentes heterogéneas. Sección 3 destaca la efectividad de las técnicas ML y HPC en la era COVID-19. Sección 4 analiza los desafíos de la adopción de tecnología debido a problemas de datos, seguridad y privacidad, un sistema prototipo para demostrar la investigación, estudios de vanguardia y sus hallazgos clave, y posibles direcciones de investigación. Finalmente, el estudio se concluye en la Sección 5.

## 2. Perspectivas sobre la recopilación de datos y las oportunidades de análisis en la era COVID-19

En los últimos años, los datos se han considerado un aceite de la economía, ya que pueden ayudar a las naciones y países de innumerables formas, incluido el análisis del comportamiento humano, las recomendaciones, la planificación de políticas y la mejora del nivel de vida de las personas, por nombrar algunas. Las últimas tecnologías son muy buenas para encontrar información valiosa a partir de datos a gran escala [7]. Destacamos los datos recopilados y procesados en la era COVID-19 y las correspondientes oportunidades de análisis ofrecidas por ellos en la Figura 3.



**Figura 3.** Descripción general conceptual de las fuentes de datos, las soluciones digitales y la analítica (DDA) en la era COVID-19.

Aparte de estas técnicas, el análisis de Big Data sobre los datos existentes, como los datos de productos básicos, tiene grandes beneficios para separar a la población vulnerable [8]. Además, la recopilación de datos de registro de visitas a las instalaciones se puede emplear en la elaboración de perfiles individuales para el análisis de movilidad. A pesar de los análisis completos que se muestran en la Figura 3, proporcionamos las siguientes funciones de análisis que pueden explotarse para frenar la propagación de la enfermedad.

- Encontrar a las personas más expuestas a través del análisis de ubicación (p. Ej., Feligreses / espectadores).
- Extracción de personas donde la presencia física para un trabajo sea obligatoria.
- Identificación de personas que trabajan en zonas de alto riesgo.
- Alertar a las personas cuando tienen una alta probabilidad de contraer COVID-19.
- Identificación de clústeres mediante la fusión de datos de múltiples fuentes.
- Analizar el contacto entre personas y predecir el puntaje de riesgo en base a multicriterios.
- Identificar contactos cercanos de manera que se preserve la privacidad.
- Analizar la dinámica de la enfermedad por grupos de edad.
- Identificar combinaciones letales de enfermedades para reducir las posibilidades de mortalidad.
- Proporcionando la puntuación de probabilidad de infección basada en múltiples parámetros.
- Encontrar la conexión de las enfermedades y la demografía para guiar mejor a las personas a mejorar su salud.
- Analizar la dinámica de la enfermedad con las condiciones ambientales.
- Analizar la correlación entre los síntomas y la transferencia de UCI para la planificación de recursos.
- Predecir las fechas de alta en función de los datos demográficos y de comorbilidad.

Los análisis documentados anteriormente abren la era de la investigación con nuevos datos que no se han analizado antes. Con la ayuda de las últimas tecnologías, todas las tareas anteriores se pueden lograr con suficiente precisión para mejorar la atención médica. Al utilizar las funciones anteriores, la carga de la atención médica se puede reducir significativamente. Además, se pueden proporcionar fácilmente diagnósticos y prescripciones automáticos.

### 3. Efectividad de las técnicas de ML y HPC en la era COVID-19

La utilización combinada de ML y HPC puede allanar el camino para una mejor atención médica y la mitigación y control efectivos de COVID-19. En el pasado reciente, estas técnicas han demostrado su eficacia en el control de la enfermedad. HPC es muy útil para procesar datos a gran escala de individuos. Presentamos el papel de ML y HPC en la era COVID-19 en tres contextos: en el ciclo de vida de la gestión de datos, en análisis y en aplicaciones de uso general.

#### 3.1. Papel de las técnicas de ML y HPC en el ciclo de vida de la gestión de datos

El ciclo de vida de los datos (DLC) es un componente importante de las aplicaciones basadas en el conocimiento. Tiene siete fases y cada fase tiene funciones únicas que se deben realizar en los datos. Proporcionamos una descripción general de las fases del DLC en la tabla 1.

**Tabla 1.** Resumen conciso del ciclo de vida de los datos empleados para combatir el COVID-19.

Número de fase	Nombre de la fase	Tareas realizadas en una fase respectiva
1.	Colección	Los datos se recopilan de personas relevantes. Los datos
2.	Almacenamiento	se almacenan en bases de datos para su uso posterior.
3.	Preprocesamiento	Los datos se limpian para su uso posterior.
4.	Analítica	Los datos se procesan con ML y HPC para obtener información.
5.	Uso	Los datos se utilizan para los fines deseados. Los datos
6.	Distribución	se comparten con fines de investigación. Los datos se
7.	Archivo	archivan para su uso en función de las necesidades.

La lista de fases proporcionada en la tabla 1 es genérico y se pueden adoptar para aplicaciones / sistemas COVID-19. Destacamos el uso de ML y HPC en las fases antes mencionadas del DLC en la Figura 4. Las técnicas de aprendizaje automático se utilizan principalmente para extraer el conocimiento deseado de los datos. Por el contrario, las técnicas de HPC pueden ser útiles para almacenar resultados intermedios o procesar datos a gran escala.

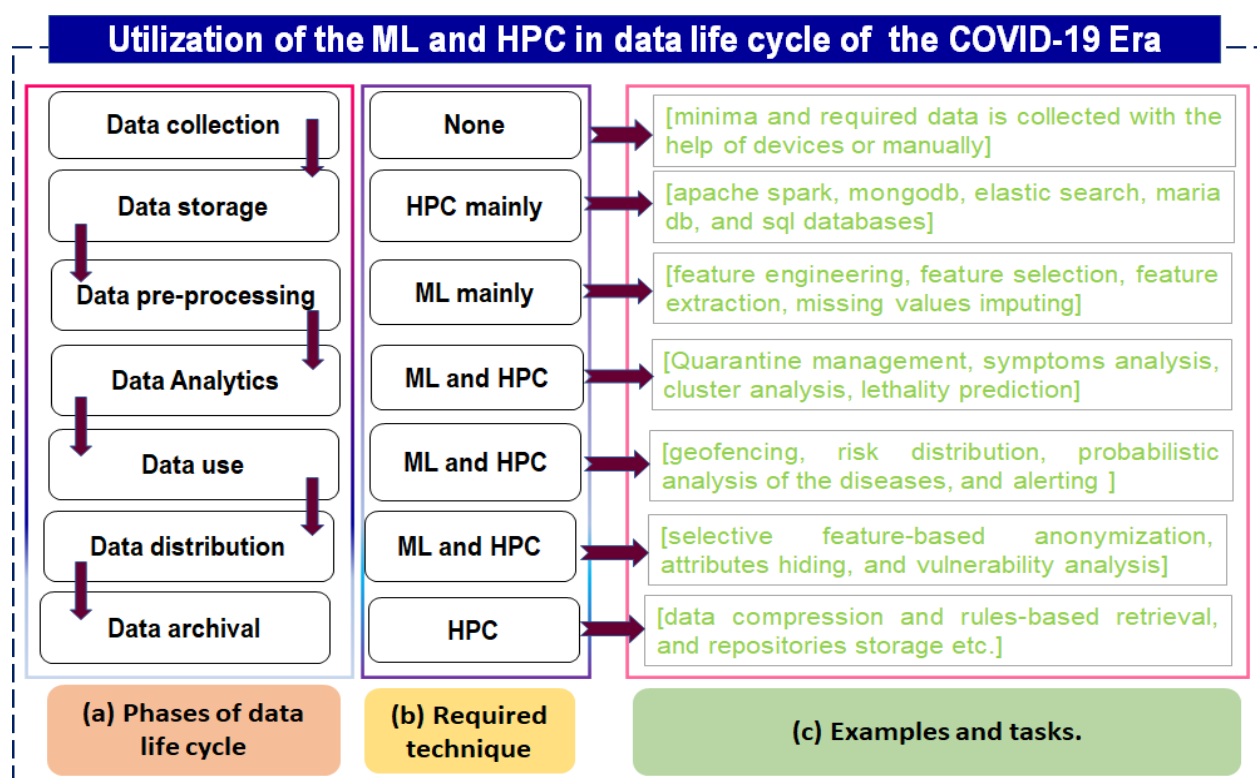
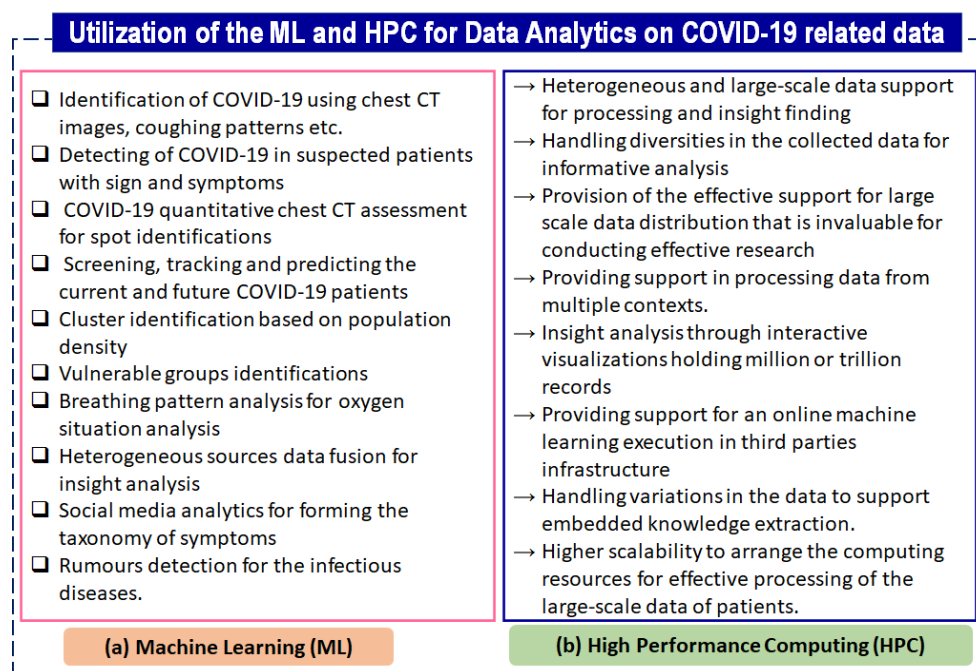


Figura 4. Papel de ML y HPC en el ciclo de vida de los datos para combatir COVID-19 a través de la tecnología.

### 3.2. Papel de las técnicas de ML y HPC en el análisis de datos en la era COVID-19

Los datos se han convertido en una parte fundamental de las aplicaciones basadas en el conocimiento. Desbloquean el conocimiento incluido en los datos subyacentes. Las últimas técnicas de análisis con funcionalidades de ajuste de hiperparámetros han demostrado ser exitosas en muchas aplicaciones. Presentamos el papel de ML y HPC en la analítica en la era COVID-19 en la Figura 5. Las técnicas de aprendizaje automático pueden ayudar en la extracción de conocimientos. Por ejemplo, pueden usarse ampliamente para identificar pacientes con y sin COVID-19. Las técnicas de ML también se pueden usar para clasificar las comorbilidades que pueden provocar muertes, ingreso en UCI, necesidad de oxígeno, etc. También se pueden usar para separar a las personas que pueden convertirse fácilmente en blanco de COVID-19 debido a su naturaleza laboral o prácticas de higiene. Además, pueden ayudar en el análisis de tendencias, análisis que preservan la privacidad y distribución de datos entre organizaciones. Por el contrario, las técnicas de HPC tienen más utilidad desde el punto de vista de la administración; por ejemplo, la agrupación comunitaria implica el procesamiento de datos a gran escala. En este sentido, las técnicas de HPC son útiles para cargar, procesar, mantener resultados intermedios y entregar resultados a las partes interesadas. Por lo tanto, Ambas técnicas juegan un papel crítico en la era COVID-19. En algunos casos, ambas técnicas se utilizan conjuntamente para realizar tareas relevantes. La discusión potencial sobre características más útiles de ambas tecnologías puede determinarse a partir de los últimos estudios [9-12].



**Figura 5.** Papel de ML y HPC en el análisis de datos para luchar con COVID-19 a través de la tecnología.

### 3.3. Papel de las técnicas de ML y HPC en las aplicaciones de uso general relacionadas con la era COVID-19

A pesar de las aplicaciones específicas en diagnóstico y análisis, las técnicas de ML y HPC se pueden utilizar para aplicaciones de uso general. Resumimos las posibles aplicaciones de propósito general de ML y HPC de la siguiente manera.

- Creando conciencia sobre COVID-19 a través del análisis de sentimientos y recomendando consejos de salud.
- Análisis a nivel regional y comunitario de los registros médicos electrónicos de casos confirmados / sospechosos de COVID-19.
- Proporcionar estadísticas médicas sobre los síntomas de COVID-19 a partir de datos de casos reales.
- Proporcionar la localidad de hospitales y clínicas.
- Aumento de la utilidad de los datos recomendando / compartiendo resultados en teléfonos móviles.
- Procesamiento y utilización de datos de señales de teléfonos celulares para identificación de personas.
- Extraer y fusionar datos de varios estilos para un análisis preciso.
- Combinando resultados multimodelo para borrar la ansiedad de las personas sobre la credibilidad de los resultados.
- Analizar y compartir el comportamiento humano para la identificación de vínculos vulnerables en la comunidad.
- Analizar las implicaciones de la tecnología en la sociedad a través de características relevantes.

Existen múltiples aplicaciones generales de HPC y ML que están ayudando a las sociedades de múltiples maneras [13,14]. Además, ambas técnicas se pueden utilizar para medir y analizar los datos de múltiples instituciones para un mejor análisis de la pandemia de COVID-19.

## 4. Discusión

Esta sección analiza brevemente los desafíos relacionados con los datos que dificultan la utilización efectiva de las técnicas de ML y HPC, los problemas de privacidad y seguridad en el contexto de COVID-19, un sistema prototipo para demostrar la efectividad de las técnicas de IA y HPC, y direcciones de investigación futuras prometedoras.

### 4.1. Desafíos relacionados con los datos que obstaculizan la utilización eficaz de las técnicas de ML y HPC

Aunque las técnicas de ML y HPC son excelentes para encontrar conocimientos ocultos a partir de los datos, los principales problemas relacionados con los datos recopilados, como la falta de disponibilidad de conjuntos de datos de referencia, los datos propensos a errores, los datos brutos y el acceso limitado a los datos relacionados debido a problemas de privacidad, son los principales barreras en la adopción de estas técnicas. Además, los problemas de privacidad y seguridad son

otros desafíos importantes que limitan la reutilización de datos y la difusión de resultados entre las organizaciones [15]. Identificamos doce características técnicas que pueden afectar la adopción de las últimas tecnologías (es decir, IA, ML, HPC, etc.). Los desafíos se enumeran a continuación.

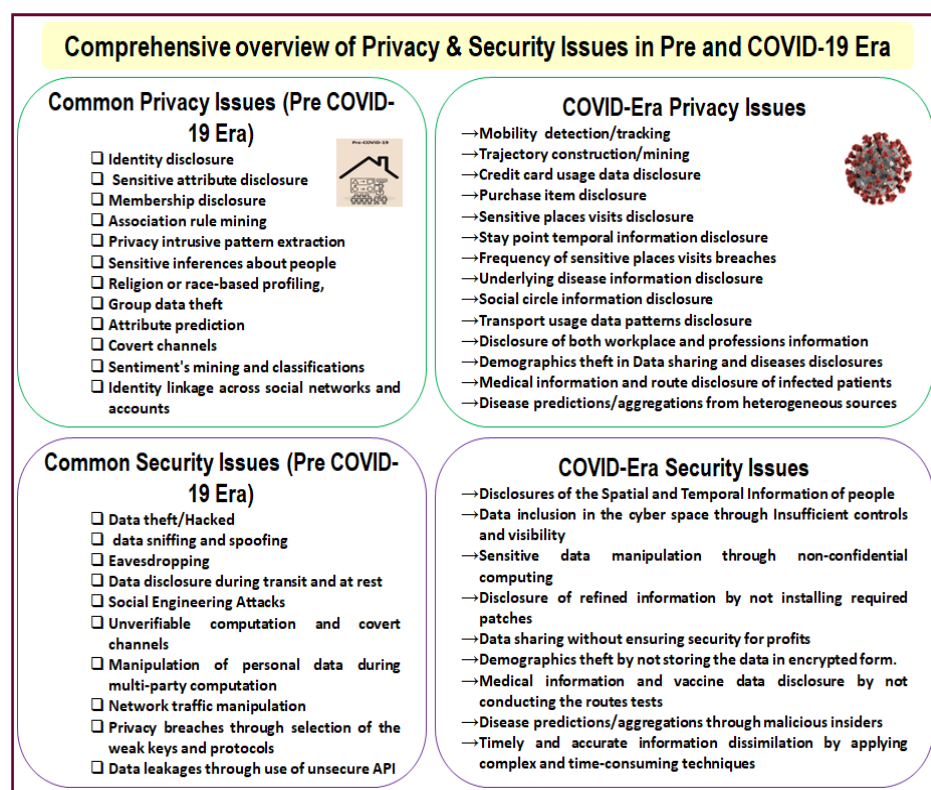
- Falta de disponibilidad de los conjuntos de datos de referencia.
- Disponibilidad de datos a una escala muy limitada.
- Los datos contienen una cantidad sustancial de registros faltantes / incompletos.
- Los datos son muy poco fiables, ya que se recopilan mediante la aplicación de la privacidad.
- Los datos están en estilos inconsistentes; por lo tanto, la fusión no es fácil.
- Los datos están muy sesgados y escasos.
- Los datos están relacionados solo con algunas comunidades (es decir, minorías).
- Los datos no pueden proporcionar información suficiente sobre la dinámica de la enfermedad.
- Los datos no pueden ayudar a formular políticas eficaces para separar a las comunidades vulnerables (por ejemplo, los datos de comorbilidad no se comparten en su mayoría).
- Los datos no proporcionan todas las dinámicas relacionadas con COVID-19.
- Los datos no admiten la adopción a gran escala de las técnicas de ML y HPC debido a problemas de privacidad y seguridad.

Además de los desafíos clave citados anteriormente, la selección de las técnicas apropiadas de ML y HPC también es muy desafiante. Por lo tanto, antes de aplicar cualquier método de AA, es de suma importancia comprender la estructura de datos y los problemas relacionados que pueden surgir en la analítica.

#### 4.2. Problemas de privacidad y seguridad

Debido a la urgencia de la situación para gestionar y desarrollar soluciones para la pandemia de COVID-19, el intercambio de información en grandes volúmenes entre organizaciones internacionales y nacionales (por ejemplo, personas con el virus (también conocido como registros médicos electrónicos) y datos de tratamiento, rastreo de contactos, datos multimedia producidos por aplicaciones digitales como Zoom, Meet, Webex, Teams, etc.) se ha vuelto inevitable. Además, el intercambio de información es un componente importante para la realización de Big Data y, al mismo tiempo, puede dar lugar a infracciones de la privacidad individual. Debido a la pandemia de COVID-19, se han informado diferentes tipos de problemas de privacidad y seguridad en los medios de todo el mundo debido a la recopilación y el procesamiento masivo de datos para frenar la propagación de COVID-19. Por lo tanto, la necesidad de preservar la privacidad de las personas se ha vuelto más urgente que nunca. Debido a problemas de privacidad a gran escala, es posible que necesitemos medidas organizativas, constitucionales y técnicas más sólidas para abordar los problemas de seguridad y privacidad de las aplicaciones digitales en la era COVID-19. Además, la gran dependencia de las soluciones digitales, como los sensores de IdT y de IdT, Internet, SN, redes 5G y potencias informáticas basadas en HPC, empeorará aún más el problema. La pandemia en curso ha puesto de relieve que los mecanismos de privacidad y seguridad existentes no son suficientes para abordar las implicaciones de privacidad y seguridad que surgen de la pandemia en curso. Requieren un nuevo comienzo para adherirse a leyes y regulaciones de protección de datos más severas (por ejemplo, HIPAA, IPA, GDPR, etc.) en todo el mundo para consolar a las personas con respecto a sus requisitos de privacidad [6]. Recientemente, se han propuesto numerosas soluciones pertinentes que se centran en la preservación de la privacidad [dieciséis-21]. Sin embargo, la confianza del público en general en el uso de soluciones digitales siguió siendo muy baja, principalmente debido a problemas de privacidad. Por lo tanto, los problemas de privacidad y seguridad presentados en la Figura 6 requieren un nuevo comienzo para desarrollar soluciones más prácticas para servir a la comunidad de manera eficaz.





**Figura 6.** Descripción general completa de los problemas de privacidad y seguridad antes y durante la era COVID-19.

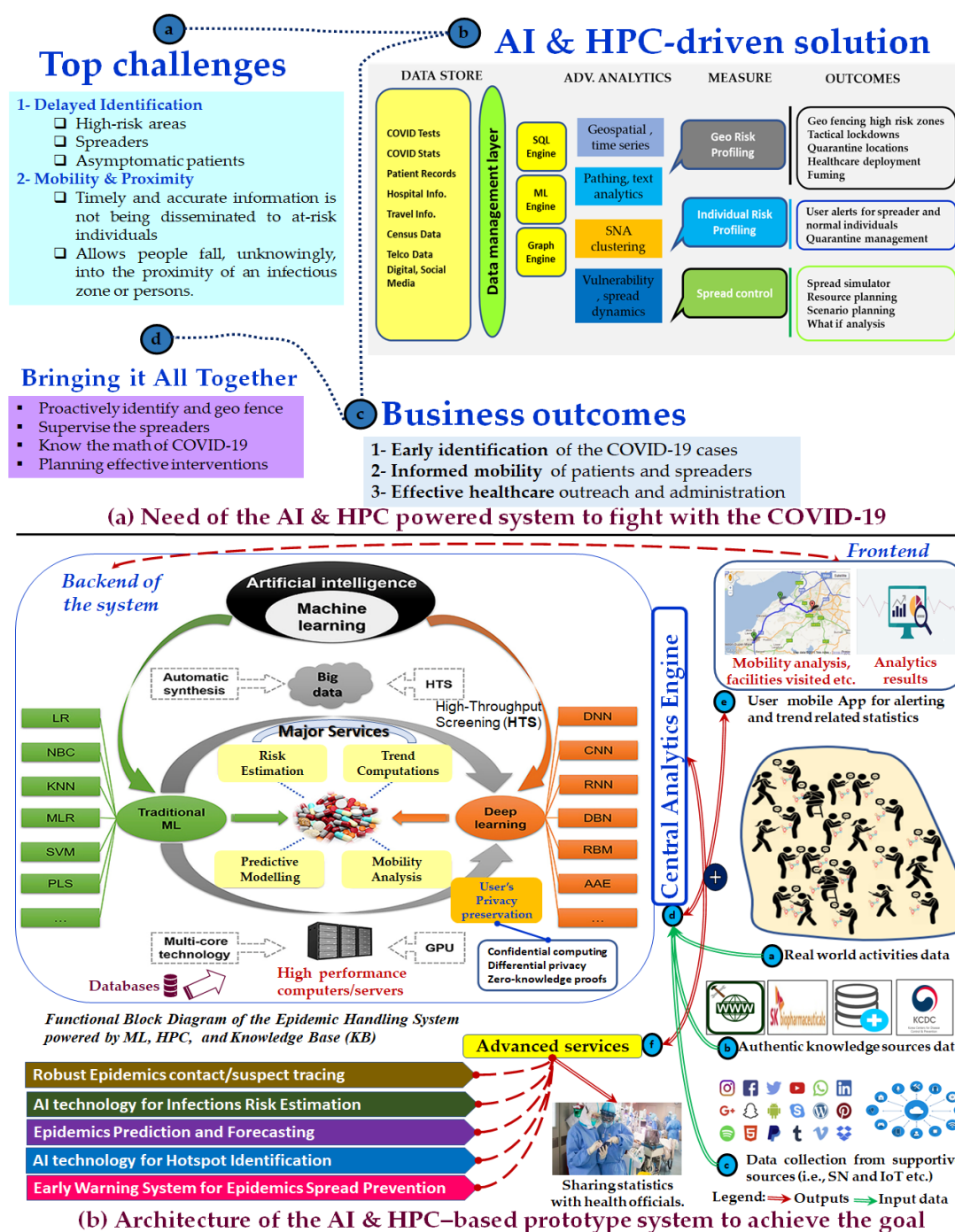
#### 4.3. Arquitectura del sistema de prototipos para demostrar la eficacia de las técnicas de IA y HPC en el contexto COVID

Desde el comienzo de esta pandemia sin precedentes, se han propuesto una serie de soluciones digitales para diferentes servicios públicos, como el rastreo de contactos digitales [22], Modelos genéricos basados en IoT para otras enfermedades infecciosas y rastreo de sospechosos de COVID-19 [23], predicciones de progresión maligna de COVID-19 [24], sistemas médicos de IA [25], sistemas expertos para guías clínicas [26], y detección de COVID-19 basada en datos en tiempo real utilizando datos de sensores portátiles [27], para nombrar unos pocos. Después de una síntesis detallada de estos sistemas, encontramos que todas las soluciones existentes se propusieron para abordar un aspecto de la pandemia de COVID-19. Para abordar esta deficiencia, diseñamos una arquitectura del sistema prototipo para demostrar la efectividad de las técnicas de IA y HPC en el contexto de COVID-19 y la necesidad de dicho sistema. La necesidad de un sistema impulsado por IA y HPC se demuestra en la Figura 7a, y la arquitectura del sistema prototipo propuesto se muestra en la Figura 7B. El prototipo propuesto tiene tres módulos principales que se pueden mejorar más en el futuro. Los módulos principales, junto con su breve descripción, se presentan a continuación.

- **Recopilación de datos:** en este módulo, los datos se recopilan de personas relevantes y fuentes auténticas, como departamentos y agencias de atención médica. Identificamos tres fuentes principales de datos que pueden contribuir eficazmente a esta pandemia, como los datos del entorno real (incluido el distanciamiento social, la información de la máscara, la naturaleza del contacto con otras personas, los datos de actividades espaciotemporales, la información del círculo social, etc.), datos auténticos de los departamentos de salud (incluido el historial de enfermedades anteriores, información de viajes, datos ambientales, etc.) y datos de IoT y SN (incluidos los comportamientos de las personas).
- **Procesamiento y análisis de datos que aprovechan las técnicas de ML y HPC:** en este módulo, los datos se procesan con múltiples técnicas de ML para la posibilidad de estimación de infecciones, predicciones de propagación y correlación de información espacio-temporal para identificaciones de rutas ocultas de propagación COVID-19. La función de HPC es brindar soporte durante el procesamiento de datos y almacenar resultados intermedios a gran escala.
- **Utilización de los resultados para la mitigación y el control de enfermedades:** en este módulo, los resultados se difunden a las partes relevantes (por ejemplo, personas en general, funcionarios de salud y gobierno).



funcionarios). El intercambio de resultados con las partes relevantes de manera precisa y oportuna contribuye significativamente a la mitigación y el control de enfermedades.



**Figura 7.** (a) Necesidad de un sistema basado en ML y HPC en la era de COVID-19 y (b) arquitectura del sistema prototipo basado en ML y HPC para luchar con el COVID-19.

#### 4.4. Descripción general completa de la investigación actual de vanguardia que involucra el uso de métodos ML y HPC en la era de COVID-19

En esta subsección, proporcionamos una descripción general completa con respecto a los estudios actuales de vanguardia (SOTA) que involucran el uso de métodos ML y HPC en la era de COVID-19. Hasta la fecha, una cantidad sustancial de estudios de SOTA han brindado cobertura con respecto al uso de métodos ML y HPC en la era de COVID-19. Discutimos los últimos estudios de SOTA, sus hallazgos y cómo estos hallazgos pueden abordar las necesidades clínicas insatisfechas en el COVID-19 en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Descripción general completa de los estudios SOTA actuales que involucran el uso de métodos ML y HPC en COVID-19, sus hallazgos clave y su función para abordar las necesidades clínicas insatisfechas en la era de COVID-19.

Categoría	Estudios SOTA	Debates sobre los hallazgos y el papel en la atención de las necesidades clínicas insatisfechas en COVID-19.	
	Detalles del estudio	Hallazgos clave de cada estudio SOTA	Papel para abordar las necesidades clínicas insatisfechas en la era del COVID-19
ML	Pinter y col. [28]	Predicciones de la tasa de mortalidad y series de tiempo de individuos infectados	Modelización de brotes y análisis de tendencias de mortalidad
	Magar y col. [29]	Análisis de secuencia de virus-anticuerpos e identificación de pacientes potenciales	Identificación sólida de anticuerpos que potencialmente inhiben COVID-19
	Aminu y col. [30]	Detección precisa de personas con COVID-19 con datos limitados	Efectivo para el diagnóstico confiable de COVID-19
	Zeng y col. [31]	Pronóstico de la probabilidad de supervivencia del paciente	Análisis de mortalidad por grupos de edad para la atención de personas mayores.
	Shah y col. [32]	Detección de COVID-19 a partir de imágenes de rayos X	Ayuda en el diagnóstico de posibles sospechosos lo antes posible para mitigar la enfermedad mortal.
	Ashraf y col. [33]	Predecir la gravedad de la enfermedad o las posibilidades de muerte	Contribución significativa en la separación de los grupos vulnerables para una atención más amplia
	Prakash y col. [34]	Análisis de impacto de diversas políticas empleadas para controlar la enfermedad	Orientación para estrategias efectivas que pueden ayudar a controlar la propagación.
	Ullah y col. [35]	Clasificación de pacientes con y sin COVID-19	Reducir la carga sanitaria del diagnóstico del paciente Asistencia
	Rathod y col. [36]	Preparación y gestión de crisis eficaces junto con las respuestas de las autoridades y las estrategias de mitigación.	en el análisis de la carga de los trabajadores sanitarios
	Rathod y col. [37]	Detección de datos anormales para un análisis eficaz Proporciona	Planificación de recursos y diagnóstico preciso
	Rashed y col. [38]	conciencia pública sobre el riesgo de morbilidad de COVID-19 Modelo de	Patrones de pronóstico consistentes y confiables de las fases de propagación / descomposición de COVID-19
	Hu y col. [39]	análisis factible para el tratamiento y diagnóstico de COVID-19	Identificaciones efectivas de síntomas clave y medicamentos para diferentes síndromes
	Singh y col. [40]	Reducir los altos resultados falsos negativos de la RT-PCR	Maneja eficazmente el problema de sensibilidad asociado con RT-PCR
	Peddinti et al. [41]	Detección de casos de COVID-19 en lugares públicos Implementación	Ayuda a los funcionarios en el diagnóstico preciso y más rápido del virus Satisfacción del
	Saverino et al. [42]	de cambios en los servicios de rehabilitación Clasificación del sonido	personal y reducción del estrés durante tiempos de pandemia Clasificación de sonidos de
	Lella y col. [43]	respiratorio para la identificación de posibles pacientes	asma, sonidos de COVID-19 y sonidos saludables regulares Predicción de tweets relacionados con tipos
	Malla y col. [44]	Análisis de sentimientos en tiempo real de los tweets de COVID-19 Diagnóstico preciso	similares de enfermedades infecciosas en el futuro Detección de pacientes con COVID-19 y clasificando
HPC	Ibrahim y col. [45]	de pacientes con COVID-19 y análisis del nivel de gravedad Identificación basada en análisis de sangre	el grado de gravedad de los cortes de TC de tórax Escaneo automático de COVID-19 de una manera rentable
	Roland y col. [46]	de pacientes con COVID-19 y estimación del riesgo de mortalidad	sin ningún esfuerzo adicional
	Gros y col. [47]	Estimaciones precisas de la carga médica acumulada de los brotes de COVID-19	Comprender la dinámica del brote y predecir casos y muertes futuros
	Hack y col. [48] West y col. [49] LeGrand y col. [50] Vermaas y col. [51] Pérez-Moraga et al. [52]	Tratamientos prometedores, incluido el análisis de la estructura de las proteínas del virus y los mecanismos de ataque, y la planificación de recursos. Análisis de propagación de COVID-19 entre diferentes poblaciones y respuesta terapéutica eficaz Descubrimiento de fármacos para atacar las proteínas del virus COVID-19 responsable de la pandemia actual	Acelerar la ciencia necesaria para desarrollar tratamientos y estrategias para combatir COVID-19 Análisis de transmisión de virus a gran escala
	Mulholland y col. [53]	Detección virtual de miles de millones de compuestos farmacológicos potenciales para encontrar proteínas COVID-19	Descubrimiento de fármacos para COVID-19 mediante el análisis de campañas de acoplamiento a gran escala Contribución en el desarrollo de fármacos para combatir la actual pandemia de COVID-19 Contribución al desarrollo de un cóctel para tratamientos anticoronavirus
	Zaki y col. [54]	Reutilización de fármacos para tratar la infección por COVID-19 Proporciona información sobre el funcionamiento interno y los mecanismos de las moléculas de COVID-19. Identifica el fármaco / candidato principal para una mejor actividad inhibidora contra la proteasa principal de COVID-19.	Puede ayudar a sugerir posibles fármacos candidatos. Útil para desarrollar un agente terapéutico para COVID-19.
Híbrido	Pathak y col. [55]	Soluciones innovadoras para restringir la propagación de COVID-19	Directrices para que las empresas farmacéuticas diseñen mejores curas
	Bhati y col. [56]	Combina HPC y ML para acelerar el descubrimiento de fármacos	Análisis de proteínas diana para identificar compuestos de plomo
	Bharadwaj y col. [57]	Desarrollo de posibles vacunas en un tiempo y un costo mucho más reducidos	Abordar las pandemias y superar la crisis con inteligencia informática

#### 4.5. Direcciones de investigación prometedoras para el futuro en la era de COVID-19

En el futuro, será interesante diseñar buenos modelos para dar sentido a los datos, predicciones precisas y pronósticos que aprovechen los datos de fuentes heterogéneas, manejo de variaciones en los datos de epidemias y análisis de tendencias precisos a través de fusiones de modelos. Además, proponer modelos específicos de COVID-19 y nuevos criterios de evaluación para evaluar la efectividad de estos modelos es otra dirección de investigación prometedora. Además, es imperativo diseñar y desarrollar modelos sólidos y precisos de preservación de la privacidad para la preservación de la privacidad individual. Con este fin, el desarrollo de un sistema prototipo que pueda abordar las implicaciones de privacidad de todas las medidas de control de epidemias demostradas en la Figura 1 es útil para el bienestar de la comunidad.

### 5. Conclusiones

Este documento presentó el papel de las últimas tecnologías (es decir, ML y HPC) en la lucha contra el desafío inesperado de COVID-19. Específicamente, presentamos una descripción general de las características de la epidemia que requieren técnicas de ML y HPC para servir a la humanidad de manera efectiva al mitigar la pandemia a través de la tecnología. Describimos la multitud de tipos heterogéneos de datos recopilados en la era COVID-19 y las notables oportunidades que ofrecen cuando se analizan con técnicas avanzadas de ML y HPC. Destacamos la eficacia de las técnicas de ML y HPC en la mitigación y el control de la pandemia de COVID-19 a través de su uso exclusivo en una variedad de aplicaciones. Proporcionamos posibles direcciones de investigación y desafíos en la adopción técnica de ML y HPC debido a problemas de datos (es decir, falta de disponibilidad, escasez, imprecisión, envenenamiento de datos, etc.). Creemos que este estudio único proporciona una base sólida para estudios futuros en esta área en relación con las características de la pandemia y los datos correspondientes. Las principales contribuciones de este estudio se dan a continuación.

- Presenta una descripción general de las características de la epidemia que requieren técnicas de ML y HPC para servir a la humanidad de una manera eficaz mediante el control de la pandemia a través de la tecnología.
- Describe la multitud de tipos heterogéneos de datos recopilados en la era COVID-19 y las notables oportunidades que ofrecen cuando se analizan con técnicas avanzadas de ML y HPC.
- Destaca la efectividad de las técnicas de LD y HPC en la mitigación y control de la pandemia de COVID-19 a través de su uso único en tres contextos.
- Proporciona posibles direcciones de investigación y desafíos que dificultan la adopción de ML y HPC debido a problemas de datos (es decir, disponibilidad, escasez, envenenamiento de datos, etc.)
- Se analizan los problemas de privacidad y seguridad y la arquitectura de un sistema prototipo para demostrar la investigación propuesta.
- Hasta donde sabemos, este es el primer trabajo que proporciona una descripción concisa de las técnicas de ML y HPC utilizadas en la era COVID-19 con los datos respectivos en bucle.

Además de las contribuciones clave dadas anteriormente, un área vibrante de investigación es el desarrollo de métodos flexibles de anonimización que se pueden ajustar fácilmente, en función de las características o circunstancias originales de los datos para fomentar la reutilización de los datos. Además, el uso de técnicas de ML y HPC para procesar datos a gran escala de una manera que preserve la privacidad es de suma importancia para los esfuerzos futuros.

**Contribuciones de autor:** Conceptualización, AM y SL; Escritura, AM; Curación de datos, AM; Metodología, AM; Supervisión, SL; Administración de proyectos, SL; Adquisición de fondos, SL. Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

**Fondos:** Esta investigación fue apoyada por la Beca de la Fundación Nacional de Investigación de Corea (NRF) financiada por el Gobierno de Corea (Ministerio de Ciencia y TIC) NRF-2020K1A3A1A47110830.

**Declaración de la Junta de Revisión Institucional:** No aplica.

**Declaración de consentimiento informado:** No aplica.

**Declaración de disponibilidad de datos:** Los datos estadísticos utilizados para respaldar los hallazgos de este estudio se incluyen en el artículo.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Hale, T. ; Angrist, N. ; Goldszmidt, R. ; Kira, B. ; Petherick, A. ; Phillips, T. ; Webster, S. ; Cameron-Blake, E. ; Hallas, L. ; Majumdar, S. ; et al. Una base de datos de panel global de políticas pandémicas (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). *Nat. Tararear. Behav.* **2021**, *5*, 529–538. [[CrossRef](#)]
- Mbunge, E. ; Akinuwa, B. ; Fashoto, SG; Metfula, AS; Mashwama, P. Una revisión crítica de las tecnologías emergentes para abordar la pandemia de COVID-19. *Tararear. Behav. Emerg. Technol.* **2021**, *3*, 25–39. [[CrossRef](#)]
- Bijan, M. Tecnologías desarrolladas y empresas emergentes activas para hacer frente a la pandemia de COVID-19 en Irán. *J. Control* **2021**, *14*, 97–105.
- Mbunge, E. ; Dzinamarira, T. ; Fashoto, SG; Batani, J. Tecnologías emergentes y Certificados y pasaportes digitales de vacunación COVID-19. *Práctica de salud pública.* **2021**, *2*, 100136. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Wen, H. ; Zhao, Q. ; Lin, Z. ; Xuan, D. ; Shroff, N. Un estudio de la privacidad de las aplicaciones de rastreo de contactos covid-19. En *Conferencia internacional sobre seguridad y privacidad en los sistemas de comunicación*; Springer: Cham, Suiza, 2020; págs. 297–317.
- Apedo-Amah, MC; Avdiu, B. ; Cirera, X. ; Cruz, M. ; Davies, E. ; Grover, A. ; Iacovone, L. ; Kilinc, U. ; Medvedev, D. ; Maduko, FO; et al. Desenmascarar el impacto de covid-19 en las empresas: evidencia a nivel de firmas de todo el mundo. *Política de Res. Trabaja. Papilla.* **2020**. [[CrossRef](#)]
- Wieringa, J. ; Kannan, PK; Ma, X. ; Reutterer, T. ; Risselada, H. ; Skiera, B. Análisis de datos en un mundo preocupado por la privacidad. *J. Bus. Res.* **2021**, *122*, 915–925. [[CrossRef](#)]
- Mirsky, JB; Horn, DM Manejo de enfermedades crónicas en la era COVID-19. *Soy. J. Manag. Cuidado* **2020**, *26*, 329–330.
- Cortés, U. ; Cortés, A. ; García-Gasulla, D. ; Pérez-Arnal, R. ; Álvarez-Napagao, S. ; Álvarez, E. El uso ético de la informática de alto rendimiento y la inteligencia artificial: Lucha contra el COVID-19 en Barcelona Supercomputing Center. *Ética de la IA* **2021**, *1*–16. [[CrossRef](#)]
- Al-Emran, M. ; Al-Kabi, MN; Marques, G. Una encuesta sobre el uso de algoritmos de aprendizaje automático durante la pandemia COVID-19. En *Tecnologías emergentes durante la era de la pandemia COVID-19*; Springer: Cham, Suiza, 2021; Volumen 348, págs. 1–8.
- Swapnarekha, H. ; Behera, HS; Nayak, J. ; Naik, B. Papel de la computación inteligente en el pronóstico de COVID-19: una revisión de vanguardia. *CaosSolitons Fractales* **2020**, *138*, 109947. [[CrossRef](#)]
- Elnaggar, A. ; Heinzinger, M. ; Dallago, C. ; Rihawi, G. ; Wang, Y. ; Jones, L. ; Gibbs, T. ; Feher, T. ; Angerer, C. ; Steinegger, M. ; et al. ProtTrans: Hacia descifrar el lenguaje del código de la vida a través del aprendizaje profundo auto-supervisado y la informática de alto rendimiento. *arXiv* **2020**, arXiv: 2007.06225.
- Arora, A. ; Chakraborty, P. ; Bhatia, MPS Uso problemático de las tecnologías digitales y su impacto en la salud mental durante la pandemia de COVID-19: evaluación mediante el aprendizaje automático. *Emerg. Technol. Dur. Era la pandemia COVID-19* **2021**, *348*, 197–221.
- Zivkovic, M. ; Bacanin, N. ; Venkatachalam, K. ; Nayyar, A. ; Djordjevic, A. ; Strumberger, I. ; Al-Turjman, F. COVID-19, predicción de casos mediante el uso de aprendizaje de máquina híbrida y un enfoque de búsqueda de antenas de escarabajo. *Sostener. Ciudades Soc.* **2021**, *66*, 102669. [[CrossRef](#)]
- Majeed, A. Esquema de anonimización centrado en atributos para mejorar la privacidad del usuario y la utilidad de publicar datos de salud electrónica. *J. King Saud Univ. Computación. Inf. Sci.* **2019**, *31*, 426–435. [[CrossRef](#)]
- Michael, V. La privacidad no es el problema con el kit de herramientas de rastreo de contactos de Apple-Google. *Guardia*, 2020. Disponible en línea: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/jul/01/apple-google-contact-tracing-app-tech-giant-digital-rights> (consultado el 5 de mayo de 2021).
- Abdul, M. Hacia un cambio en el paradigma de la privacidad debido a la pandemia: una breve perspectiva. *Inventos* **2021**, *6*, 24.
- Sowmiya, B. ; Abhijith, VS; Sudersan, S. ; Sundar, RSJ; Thangavel, M. ; Varalakshmi, P. Una encuesta sobre cuestiones de seguridad y privacidad en la aplicación de rastreo de contactos de Covid-19. *SN Comput. Sci.* **2021**, *2*, 1–11. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Mallory, K. Salud pública, gran tecnología y privacidad cuadrando el círculo de rastreo de contactos. COVID-19 y el espacio de información que impulsa la respuesta democrática, perspectivas globales. pag. 44. Disponible en línea: <https://www.ned.org/wp-content/uploads/2021/01/Global-Insights-COVID-19-Information-Space-Boosting-Democratic-Response-1.pdf-page=44> (consultado el 5 de mayo de 2021).
- McGraw, D. ; Mandl, KD Protecciones de privacidad para fomentar el uso de datos digitales relevantes para la salud en un sistema de aprendizaje de la salud. *Dígito NPJ. Medicina.* **2021**, *4*, 1–11. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Shin, S.-Y. Protección de la privacidad y utilización de datos. *Salud c. Informar. Res.* **2021**, *27*, 1–2. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Kleinman, RA; Merkel, C. Seguimiento digital de contactos para COVID-19. *CMAJ* **2020**, *192*, E653 – E656. [[CrossRef](#)]
- Garg, L. ; Chukwu, E. ; Nasser, N. ; Chakraborty, C. ; Garg, G. Anonimato preservando COVID-19 basado en IoT y otro modelo de rastreo de contactos de enfermedades infecciosas. *Acceso IEEE* **2020**, *8*, 159402–159414. [[CrossRef](#)]
- Fang, C. ; Bai, S. ; Chen, Q. ; Zhou, Y. ; Xia, L. ; Qin, L. ; Gong, S. ; Xie, X. ; Zhou, C. ; Tu, D. ; et al. Aprendizaje profundo para predecir la progresión maligna de COVID-19. *Medicina. Imagen Anal.* **2021**, *72*, 102096. [[CrossRef](#)]
- Wang, B. ; Jin, S. ; Yan, Q. ; Xu, H. ; Luo, C. ; Wei, L. ; Zhao, W. ; Hou, X. ; Ma, W. ; Xu, Z. ; et al. Análisis de imágenes por TC asistido por IA para la detección de COVID-19: creación e implementación de un sistema de IA médica. *Apl. Soft Comput.* **2021**, *98*, 106897. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Banjar, HR; Alkhatabi, H. ; Alganmi, N. ; Almouhana, GI Prototype Development of an Expert System of Computerized Clinical Guidelines for COVID-19 Diagnosis and Management in Arabia Saudita. *En t. J. Environ. Res. Salud pública* **2020**, *17*, 8066. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

27. Mukhtar, H. ; Rubaiee, S. ; Krichen, M. ; Alroobaee, R. Un marco de IoT para la detección de COVID-19 utilizando datos en tiempo real de sensores portátiles. *En t. J. Environ. Res. Salud pública* **2021**, *18*, 4022. [CrossRef] [PubMed]
28. Pinter, G. ; Felde, I. ; Mosavi, A. ; Ghamisi, P. ; Gloaguen, R. COVID-19 Pandemic Prediction para Hungría; un enfoque de aprendizaje automático híbrido. *Matemáticas* **2020**, *8*, 890. [CrossRef]
29. Magar, R. ; Yadav, P. ; Farimani, AB Se han descubierto posibles anticuerpos neutralizantes para el nuevo virus corona mediante el aprendizaje automático. *Sci. Reps.* **2021**, *11*, 5261. [CrossRef]
30. Amin, M. ; Ahmad, NA; Detección de Noor, MHM Covid-19 a través de redes neuronales profundas y mapas de sensibilidad de oclusión. *Alex. Ing. J.* **2021**, *60*, 4829–4855. [CrossRef]
31. Zeng, W. ; Gautam, A. ; Huson, DH sobre la aplicación de métodos avanzados de aprendizaje automático para analizar datos multimodales mejorados de personas infectadas con COVID-19. *Cálculo* **2021**, *9*, 4. [CrossRef]
32. Shah, PM; Ullah, F. ; Shah, D. ; Gani, A. ; Arce, C. ; Wang, Y. ; Shahid, A. ; Abrar, M. ; Islam, SU Modelo profundo de GRU-CNN para la detección de COVID-19 a partir de datos de rayos X de tórax. *Acceso IEEE* **2021**. [CrossRef]
33. Ashraf, I. ; Alnumay, WS; Ali, R. ; Hur, S. ; Bashir, AK; Modelos de predicción de Zikria, YB para COVID-19 que integran grupos de edad, género y condiciones subyacentes. *Computación. Mater. Contin.* **2021**, *67*, 3009–3044. [CrossRef]
34. Prakash, PNS; Hariharan, B. ; Kaliraj, S. ; Siva, R. ; Vivek, D. El impacto de varios factores de política implementados para controlar la propagación de COVID-19. *Mater. Hoy Proc.* **2021**. [CrossRef]
35. Ullah, SI; Salam, A. ; Ullah, W. ; Imad, M. Clasificación de imágenes pulmonares COVID-19 basada en regresión logística y máquina de vectores de soporte. En *Conferencia europea, asiática, del Medio Oriente y del norte de África sobre sistemas de información y gestión*; Springer: Cham, Suiza, 2021; págs. 13–23.
36. Rathod, P. ; Usoro, A. Evaluación comparativa de enfoques de aprendizaje automático para predecir las incertidumbres de una enfermedad pandémica: un estudio exploratorio. En *Actas de la Séptima Conferencia Internacional Anual sobre Tecnología de la Información y Desarrollo Económico*, Gregory University, Uturu, Nigeria, 16–18 de noviembre de 2020.
37. Al Meshal, RAKH El impacto de COVID-19 en los países del Golfo Pérsico utilizando los métodos clásicos de aprendizaje automático. MECSJ. 2021. Disponible en línea: [https://www.mecsjs.com/uplode/images/photo/The\\_impact\\_of\\_COVID-19\\_on\\_Arabian\\_Gulf\\_countries\\_using\\_the\\_Classical\\_Machine\\_Learning\\_Methods.pdf](https://www.mecsjs.com/uplode/images/photo/The_impact_of_COVID-19_on_Arabian_Gulf_countries_using_the_Classical_Machine_Learning_Methods.pdf) (consultado el 30 de junio de 2021).
38. Rashed, EA; Hirata, A. Lección de un año: Predicción de aprendizaje automático de casos positivos de COVID-19 con datos meteorológicos y estimación de movilidad en Japón. *En t. J. Environ. Res. Salud pública* **2021**, *18*, 5736. [CrossRef]
39. Hu, F. ; Huang, M. ; Sun, J. ; Zhang, X. ; Liu, J. Un modelo de análisis de diagnóstico y tratamiento para la pandemia de COVID-19 basado en la fusión de información médica. *Inf. Fusión* **2021**, *73*, 11–21. [CrossRef] [PubMed]
40. Singh, D. ; Kumar, V. ; Kaur, M. Modelo de cribado COVID-19 basado en redes convolucionales densamente conectadas. *Apl. Intell.* **2021**, *51*, 3044–3051. [CrossRef]
41. Peddinti, B. ; Shaikh, A. ; Bhavya, KR; Nithin Kumar, KC Framework para la detección e identificación en tiempo real de posibles pacientes de COVID-19 en lugares públicos. *Biomed. Proceso de señal. Control* **2021**, *68*, 102605. [CrossRef]
42. Saverino, A. ; Baiardi, P. ; Galata, G. ; Pedemonte, G. ; Vassallo, C. ; Pistarini, C. El desafío de reorganizar los servicios de rehabilitación en el momento de la pandemia de COVID-19: una nueva plataforma de inteligencia artificial y digital para respaldar el trabajo en equipo en la planificación y prestación de atención segura y de alta calidad. *Parte delantera. Neurol.* **2021**, *12*, 643251. [CrossRef] [PubMed]
43. Lella, KK; Pja, A. Diagnóstico automático de la enfermedad COVID-19 utilizando una red neuronal convolucional 1D y aumento con el sonido respiratorio humano basado en parámetros: tos, respiración y voz. *AIMS Salud Pública* **2021**, *8*, 240. [CrossRef] [PubMed]
44. Malla, S. ; Alphonse, PJA COVID-19 brote: un modelo de aprendizaje profundo preentrenado conjunto para detectar tweets informativos. *Apl. Soft Comput.* **2021**, *107*, 107495. [CrossRef]
45. Ibrahim, MR; Youssef, SM; Fathalla, KM Detección de anomalías y evaluación inteligente de la gravedad de las exploraciones de tomografía computarizada de tórax humano mediante aprendizaje profundo: un estudio de caso sobre la evaluación del SARS-COV-2. *J. Ambient Intell. Humaniz. Computación.* **2021**, 1–24. [CrossRef]
46. Roland, T. ; Boeck, C. ; Tschoellitsch, T. ; Maletzky, A. ; Hochreiter, S. ; Meier, J. ; Klambauer, G. Diagnóstico de COVID-19 basado en aprendizaje automático a partir de análisis de sangre con robustez a los cambios de dominio. *medRxiv* **2021**. [CrossRef]
47. Gros, C. ; Valenti, R. ; Schneider, L. ; Gutsche, B. ; Markoví c, D. Predecir la carga médica acumulada de los brotes de COVID-19 después del pico de muertes diarias. *Más uno* **2021**, *dieciséis*, e0247272. [CrossRef]
48. Hack, JJ; Papka, ME El consorcio de informática de alto rendimiento de EE. UU. En la lucha contra COVID-19. *Computación. Sci. Ing.* **2020**, *22*, 75–80. [CrossRef]
49. West, J. Computación científica a gran escala en la lucha contra COVID-19. *Computación. Sci. Ing.* **2021**, *23*, 89–92. [CrossRef]
50. LeGrand, S. ; Scheinberg, A. ; Tillack, AF; Thavappiragasam, M. ; Vermaas, JV; Agarwal, R. ; Larkin, J. ; Poole, D. ; Santos-Martins, D. ; Solis-Vasquez, L. ; et al. Descubrimiento de fármacos acelerado por GPU con acoplamiento en la supercomputadora de la cumbre: portabilidad, optimización y aplicación a la investigación de COVID-19. En *Actas de la 11a Conferencia Internacional ACM sobre Bioinformática, Biología Computacional e Informática de la Salud, Evento Virtual, EE. UU.*, 21–24 de septiembre de 2020; págs. 1–10.
51. Vermaas, JV; Sedova, A. ; Baker, M. ; Boehm, S. ; Rogers, D. ; Larkin, J. ; Glaser, J. ; Smith, M. ; Hernández, O. ; Smith, J. Supercomputing Pipelines Search for Therapeutics Against COVID-19. *Computación. Sci. Ing.* **2020**, *23*, 7–16. [CrossRef]
52. Pérez-Moraga, R. ; Forés-Martos, J. ; Suay-García, B. ; Duval, J. ; Falcó, A. ; Climent, J. Una estrategia de reutilización de fármacos COVID-19 a través de similitudes homológicas cuantitativas utilizando un marco basado en análisis de datos topológicos. *Farmacia* **2021**, *13*, 488. [CrossRef]

- 
53. Mulholland, A.J.; Amaro, R.E. COVID19-Los químicos computacionales se encuentran con el momento. *J. Chem. Inf. Model.* **2020**, *60*, 5724–5726. [[CrossRef](#)]
54. Zaki Magdi, E.A.; Al-Hussain, S.A.; Masand, V.H.; Akasapu, S.; Bajaj, S.O.; El-Sayed, N.N.E.; Ghosh, A.; Lewaa, I. Identificación de compuestos anti-SARS-CoV-2 a partir de alimentos mediante análisis de detección virtual, acoplamiento molecular y simulación de dinámica molecular basados en QSAR. *Productos farmacéuticos* **2021**, *14*, 357. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Pathak, N.; Deb, P.K.; Mukherjee, A.; Misra, S. IoT-to-the-Rescue: Una encuesta de soluciones de IoT para pandemias similares a COVID-19. *IEEE Internet Things J.* **2021**. [[CrossRef](#)]
56. Bhati, A.P.; Wan, S.; Alfè, D.; Clyde, A.R.; Bode, M.; Tan, L.; Titov, M.; Merzky, A.; Turilli, M.; Jha, S.; et al. Medicamentos pandémicos a velocidad pandémica: Aceleración del descubrimiento de medicamentos COVID-19 con simulaciones híbridas basadas en aprendizaje automático y física en computadoras de alto rendimiento. *arXiv* **2021**, arXiv: 2103.02843.
57. Bharadwaj, K.K.; Srivastava, A.; Panda, M.K.; Singh, Y.D.; Maharana, R.; Mandal, K.; Singh, B.S.M.; Singh, D.; Das, M.; Murmu, D.; et al. Inteligencia computacional en el diseño de vacunas contra COVID-19. En *Métodos de inteligencia computacional en COVID-19: vigilancia, prevención, predicción y diagnóstico*; Springer: Singapur, 2021; págs. 311–329.