



**Ciencia Latina**  
Internacional

---

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,  
Volumen 8, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1)

**INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA  
ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO Y  
PRONÓSTICO DEL CÁNCER DE MAMA  
EN MÉXICO**

**INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
IN THE DIAGNOSIS AND PROGNOSIS OF BREAST  
CANCER IN MEXICO**

**Marco Antonio Rodríguez Zúñiga**  
Instituto Tecnológico de Durango, México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.9683](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9683)

## Integración de la Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Pronóstico del Cáncer de Mama en México

Marco Antonio Rodríguez Zúñiga<sup>1</sup>

[mrodriguez@itdurango.edu.mx](mailto:mrodriguez@itdurango.edu.mx)

<https://orcid.org/0009-0004-5108-212X>

Instituto Tecnológico de Durango/TecNM  
Durango, Dgo. México

Edel Pérez Esparza

[eperez@itdurango.edu.mx](mailto:eperez@itdurango.edu.mx)

<https://orcid.org/0009-0008-0432-8384>

Instituto Tecnológico de Durango/TecNM  
Durango, Dgo. México

### RESUMEN

El uso de Machine Learning (aprendizaje automático) en el diagnóstico y pronóstico del cáncer de mama ha revolucionado la atención médica a nivel mundial. Esta tecnología aprovecha algoritmos avanzados de aprendizaje supervisado, no supervisado, deep learning, redes neuronales y análisis de datos masivos para identificar patrones en imágenes de mastografías, biopsias y datos clínicos de pacientes. El resultado es una detección más temprana y precisa del cáncer de mama, lo que permite un tratamiento más oportuno y efectivo. Además, esta importante rama de la inteligencia artificial como lo es el aprendizaje automático puede generar un pronóstico de la enfermedad más certero, lo que ayuda a personalizar el tratamiento del paciente y mejorar los resultados clínicos de los mismos. Es por eso que el propósito de este artículo es mostrar como esta aplicación innovadora de la tecnología está transformando la atención médica en la lucha contra las enfermedades, concretamente, el cáncer de mama.

**Palabras clave:** aprendizaje automático, aprendizaje profundo, diagnóstico, cáncer, pronóstico

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [mrodriguez@itdurango.edu.mx](mailto:mrodriguez@itdurango.edu.mx)

# Integration of Artificial Intelligence in the Diagnosis and Prognosis of Breast Cancer in Mexico

## ABSTRACT

The use of Machine Learning in the diagnosis and prognosis of breast cancer has revolutionized medical care worldwide. This technology leverages advanced supervised and unsupervised learning algorithms, deep learning, neural networks, and big data analytics to identify patterns in mammography images, biopsies, and patient clinical data. The result is earlier and more accurate detection of breast cancer, allowing for more timely and effective treatment. In addition, this important branch of artificial intelligence such as machine learning can generate a more accurate prognosis of the disease, which helps to personalize patient treatment and improve clinical outcomes. That is why the purpose of this article is to show how this innovative application of technology is transforming medical care in the fight against diseases, specifically, breast cancer.

**Keywords:** machine learning, deep learning, diagnosis, cancer, prognosis

*Artículo recibido 27 diciembre 2023  
Aceptado para publicación: 30 enero 2024*



## INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que el impacto del cáncer de mama en la familia es profundo y multifacético, extendiéndose más allá de la persona directamente afectada por la enfermedad. La noticia del diagnóstico no solo desencadena una montaña rusa emocional para la paciente, sino que también envuelve a sus seres queridos en un torbellino de preocupación, miedo y ansiedad. Los lazos familiares se ven desafiados mientras los miembros se esfuerzan por ofrecer apoyo incondicional, enfrentándose a decisiones difíciles y cambios en la dinámica familiar. Las responsabilidades cotidianas pueden volverse abrumadoras, y la incertidumbre sobre el futuro genera tensiones adicionales.

El cáncer de mama es una enfermedad compleja y multifactorial, con causas que abarcan desde factores genéticos hasta influencias ambientales. Las variantes genéticas heredadas, como las mutaciones en los genes BRCA1 y BRCA2, aumentan significativamente el riesgo de desarrollar cáncer de mama. Sin embargo, la mayoría de los casos no están vinculados directamente a factores hereditarios, sino que se ven influenciados por una interacción compleja de elementos. Factores hormonales, como la exposición prolongada a altos niveles de estrógeno, desempeñan un papel crucial en el desarrollo de la enfermedad. La edad, el género, la historia reproductiva y la exposición a la radiación también se cuentan entre los factores de riesgo reconocidos. Además, cambios en el estilo de vida, como el consumo de alcohol, la falta de actividad física y la obesidad, han sido identificados como contribuyentes potenciales. Comprender estas diversas causas es esencial para la prevención y el diagnóstico temprano, subrayando la importancia de la conciencia, la educación y la investigación continua en la lucha contra el cáncer de mama.

En las últimas décadas, el cáncer de mama ha sido objeto de intensa investigación y atención clínica debido a su alta incidencia y su impacto significativo en la salud de las mujeres a nivel global. La detección temprana y la selección de tratamientos óptimos son pilares fundamentales para mejorar los resultados y la supervivencia de las pacientes con cáncer de mama. En este contexto, el uso de tecnologías de vanguardia, como el aprendizaje automático o "Machine Learning", ha emergido como una herramienta prometedora con el potencial de transformar la forma en que abordamos la detección, el diagnóstico, el pronóstico y el tratamiento del cáncer de mama.

Este artículo tiene como objetivo explorar a fondo cómo las aplicaciones de Machine Learning están siendo integradas en el ámbito de la oncología mamaria. Analizaremos cómo estas técnicas avanzadas de procesamiento y análisis de datos pueden extraer patrones complejos y ofrecer perspectivas significativas a partir de conjuntos masivos de información, incluyendo datos clínicos, de imágenes y genómicos. Asimismo, examinaremos casos de estudio y desarrollos recientes que demuestran el potencial de esta tecnología para mejorar la precisión diagnóstica, personalizar los tratamientos y optimizar la toma de decisiones clínicas en el contexto del cáncer de mama.

Al comprender y evaluar a fondo el impacto y el alcance del Machine Learning en el campo de la oncología mamaria, podremos vislumbrar un futuro en el que la tecnología desempeñe un papel integral en la lucha contra esta enfermedad, brindando esperanza a las pacientes y a la comunidad médica en su conjunto.

## **METODOLOGÍA**

Para esta investigación, se utilizó un enfoque mixto, ya que para efectos de la medición de resultados fue necesario utilizar datos numéricos y estadísticas, búsqueda de patrones y relaciones causales a través de la aplicación de métodos estadísticos. Sin embargo, desde el punto de vista del enfoque cualitativo fue necesario utilizar datos no numéricos, como observaciones, y el tratar de captar la complejidad y la riqueza de experiencias de países que van a la vanguardia en la aplicación de estas tecnologías.

### **Procedimiento**

#### **Herramientas utilizadas para el análisis.**

La base principal de este artículo se centra en estudios realizados en México a personas afectadas con cáncer de mama y que fueron diagnosticadas durante los años 2021 y 2022.

Los datos fueron extraídos de fuentes públicas del sitio: <https://datos.gob.mx/>. A partir de archivos públicos en formato CSV (valores separados por coma) se realizaron algunos análisis con el uso del lenguaje de programación Python, y las librerías: Pandas, Numpy, Matplotlib, las cuales se describirán a continuación.

**Python:** Es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum a principios de los años noventa. Se trata de un lenguaje interpretado o de script, es decir, se ejecuta utilizando un programa intermedio llamado intérprete, en lugar de compilar el código a lenguaje máquina que pueda

comprender y ejecutar directamente una computadora (lenguajes compilados). con tipado dinámico, fuertemente tipado, multiplataforma y orientado a objetos.

**Pandas:** Es una biblioteca de código abierto con licencia BSD que proporciona estructuras de datos y herramientas de análisis de datos de alto rendimiento y fáciles de usar para el lenguaje de programación Python.

**Numpy:** Es el paquete fundamental para la informática científica en Python. Es una biblioteca de Python que proporciona un objeto de matriz multidimensional, varios objetos derivados (como matrices y matrices enmascaradas) y una variedad de rutinas para operaciones rápidas en matrices, incluidas matemáticas, lógicas, manipulación de formas, clasificación, selección, E/S., transformadas discretas de Fourier, álgebra lineal básica, operaciones estadísticas básicas, simulación aleatoria y mucho más.

**Matplotlib:** Es una biblioteca completa para crear visualizaciones estáticas, animadas e interactivas.

**Jupyter Notebook:** Es el último entorno de desarrollo interactivo basado en web para cuadernos, códigos y datos. Su interfaz flexible permite a los usuarios configurar y organizar flujos de trabajo en ciencia de datos, informática científica, periodismo computacional y aprendizaje automático.

### **Panorama actual del cáncer de mama**

El cáncer de mama, una enfermedad que se origina en las células mamarias, ha sido objeto de estudio y atención médica a lo largo de la historia. Sus primeras menciones datan de la antigüedad, aunque fue en el siglo XVII cuando se realizaron las primeras descripciones anatómicas detalladas. A lo largo de los siglos, la comprensión del cáncer de mama evolucionó gradualmente, y en el siglo XX, se realizaron avances significativos en la detección y tratamiento. La concienciación sobre la importancia de la autoexploración y las campañas de mamografías se intensificaron en las últimas décadas. A pesar de los avances, el cáncer de mama sigue siendo una preocupación global, con millones de mujeres afectadas cada año. La investigación continua se centra en comprender mejor las causas genéticas y ambientales, así como en desarrollar tratamientos más efectivos. La situación actual implica un enfoque integral que incluye la prevención, detección temprana y tratamientos personalizados, destacando la importancia de la concienciación y la investigación en la lucha contra esta enfermedad.

### **¿Cómo se diagnostica tradicionalmente el cáncer de mama?**

A través del tiempo, se han implementado diferentes pruebas que permitan a los profesionales de la

salud diagnosticar de manera oportuna el cáncer de mama. De acuerdo con información proporcionada por la clínica Mayo (Mayo, 2022), las pruebas y los procedimientos tradicionales usados para el diagnóstico del cáncer de mama incluyen:

**Examen de mama:** El médico revisa los pechos y los ganglios linfáticos de la axila para detectar bultos o problemas anormales.

**Mamografía:** Es una radiografía de los senos que se usa para buscar cáncer de mama. Si se encuentra algo extraño en una mamografía de rutina, el médico puede recomendar una mamografía adicional para un diagnóstico más preciso.

**Ecografía mamaria:** Utiliza ondas sonoras para crear imágenes de lo que está dentro del seno. Esto ayuda a determinar si un bulto es sólido o un quiste lleno de líquido.

**Biopsia:** Es el procedimiento definitivo para diagnosticar el cáncer de mama. Se toma una muestra de tejido del área sospechosa usando una aguja guiada por rayos X u otras imágenes. Luego, se envía al laboratorio para analizar si las células son cancerosas, qué tipo de cáncer es, cuán agresivo es y si tiene receptores hormonales.

**Resonancia magnética de mama:** Se usa una máquina especial con un imán y ondas de radio para obtener imágenes detalladas del interior del seno. Antes del examen, se inyecta un tinte, pero a diferencia de otras pruebas de imágenes, no utiliza radiación.

Por supuesto, existen algunos procedimientos adicionales. Sin embargo, en este artículo nos centraremos en herramientas de Machine Learning, que ya se usan en algunos países desarrollados, y que, seguramente ayudarían en gran manera a los médicos especialistas en los países en vías de desarrollo como México.

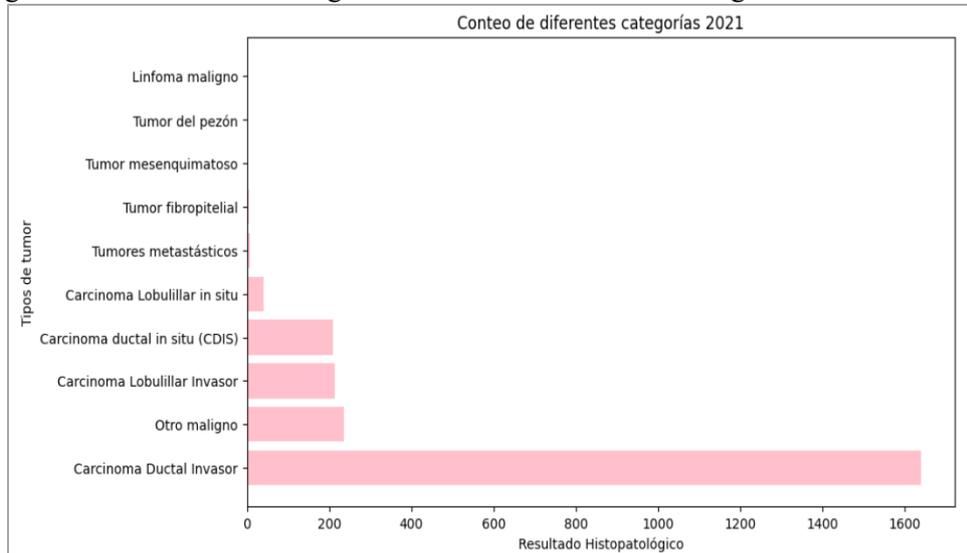
### **Análisis de la información**

Una vez instalado el entorno de programación de Python (IDLE) y las librerías correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados que sirven de base para plantear algunas alternativas que sean de utilidad para los profesionales de la salud a la hora de diagnosticar el cáncer de mama. Cabe destacar que el uso de estas herramientas ya se está aplicando en países desarrollados, y veremos las ventajas de implementarlo en el ámbito de la medicina en México.

Los casos confirmados analizados durante el **año 2021** corresponden a **2385** pacientes en la República

Mexicana, siendo el **linfoma maligno** el de menor incidencia con **1** caso, y el **carcinoma ductal invasor** el de mayor incidencia con **1640** casos, representando el 68.76% del total de los casos (ver Figura 1).

**Figura 1** Elaborada por los autores de este artículo con información del sitio de datos públicos del gobierno de México: datos.gob.mx. Conteo de diferentes categorías de tumores del 2021.



El estado que presenta la mayoría de los casos de cáncer de mama es **Veracruz** con un total de **351** casos, siendo **Chihuahua** el de menos incidencias con solo **6** casos registrados.

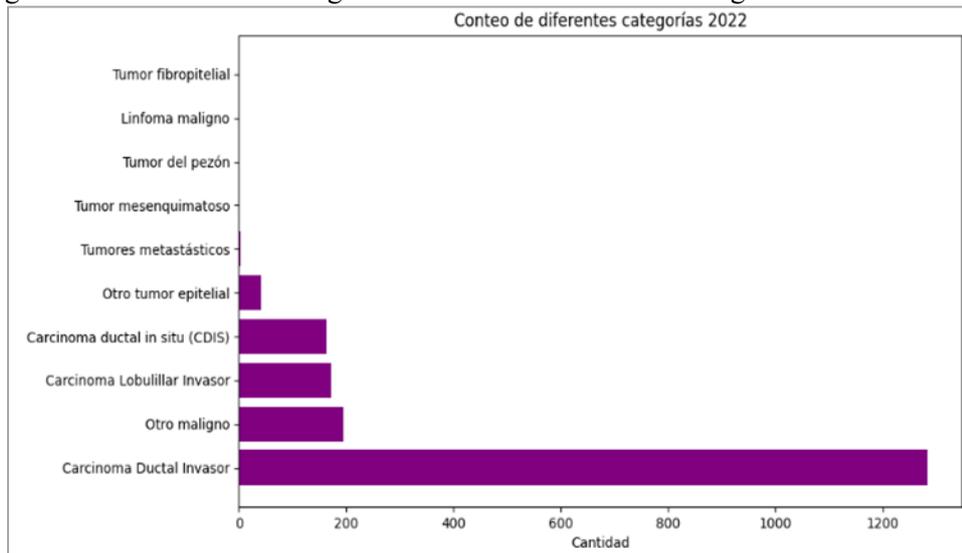
**Tabla 1** Cantidad de casos confirmados por el gobierno de México, según datos públicos del portal: datos.gob.mx por entidad federativa referentes al 2021.

| Entidad             | Cantidad de casos |
|---------------------|-------------------|
| Chihuahua           | 6                 |
| Chiapas             | 7                 |
| Quintana Roo        | 11                |
| Sonora              | 16                |
| Oaxaca              | 17                |
| ...                 | ...               |
| Tabasco             | 166               |
| Tamaulipas          | 170               |
| Michoacán de Ocampo | 245               |
| Ciudad de México    | 248               |
| Veracruz            | 351               |

Durante este año (2021), **2236** personas necesitaron un plan de atención primario. Mientras que **149** obtuvieron un plan de tratamiento secundario.

Por otra parte, los casos confirmados analizados durante el año 2022 fueron 1889, siendo ahora el tumor fibroepitelial el de menor incidencia con 1 caso, y de nueva cuenta, el carcinoma ductal invasor el de mayor incidencia con 1284 casos (ver Figura 2).

**Figura 2** elaborada por los autores de este artículo con información del sitio de datos públicos del gobierno de México: datos.gob.mx. Conteo de diferentes categorías de tumores del 2022.



Como muestra la tabla siguiente, el estado que presenta más casos de cáncer de mama es de nueva cuenta **Veracruz**, el cual suma **343** casos confirmados. Por otra parte, **Chiapas** presentó el menor número de incidencias confirmadas con solo **4** casos registrados.

**Tabla 2** Cantidad de casos confirmados por el gobierno de México, según datos públicos del portal: datos.gob.mx por entidad federativa referentes al 2022.

| Entidad           | Cantidad de casos |
|-------------------|-------------------|
| Chiapas           | 4                 |
| Yucatán           | 8                 |
| Sonora            | 11                |
| Campeche          | 11                |
| San Luis Potosí   | 12                |
| ...               | ...               |
| Baja California   | 95                |
| Tabasco           | 143               |
| Tamaulipas Ocampo | 166               |
| Guanajuato        | 192               |
| Veracruz          | 343               |

### ¿Cómo se diagnostica tradicionalmente el cáncer de mama?

A través del tiempo, se han implementado diferentes pruebas que permitan a los profesionales de la salud diagnosticar de manera oportuna el cáncer de mama. De acuerdo con información proporcionada por la clínica Mayo (Mayo, 2022), las pruebas y los procedimientos tradicionales usados para el diagnóstico del cáncer de mama incluyen:

**Examen de mama:** El médico revisa los pechos y los ganglios linfáticos de la axila para detectar bultos o problemas anormales.

**Mamografía:** Es una radiografía de los senos que se usa para buscar cáncer de mama. Si se encuentra

algo extraño en una mamografía de rutina, el médico puede recomendar una mamografía adicional para un diagnóstico más preciso.

**Figura 3** Imagen de mama generada con mastógrafo [5].



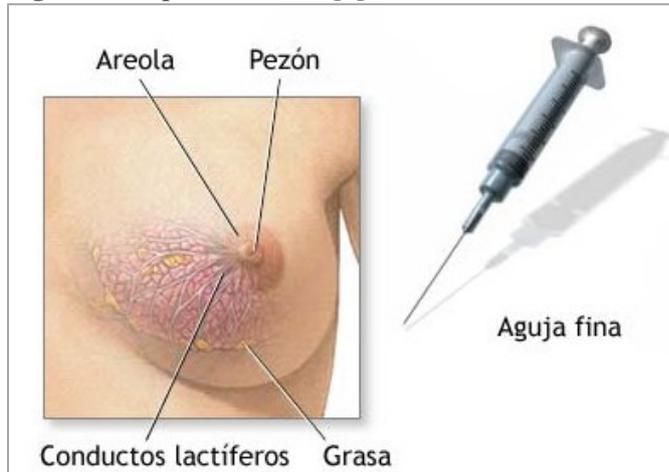
**Ecografía mamaria:** Utiliza ondas sonoras para crear imágenes de lo que está dentro del seno. Esto ayuda a determinar si un bulto es sólido o un quiste lleno de líquido.

**Figura 4** Ecografía mamaria a través de aparato de ultrasonido [29].



**Biopsia:** Es el procedimiento definitivo para diagnosticar el cáncer de mama. Se toma una muestra de tejido del área sospechosa usando una aguja guiada por rayos X u otras imágenes. Luego, se envía al laboratorio para analizar si las células son cancerosas, qué tipo de cáncer es, cuán agresivo es y si tiene receptores hormonales.

**Figura 5** Biopsia de mama [3].



**Resonancia magnética de mama:** Se usa una máquina especial con un imán y ondas de radio para obtener imágenes detalladas del interior del seno. Antes del examen, se inyecta un tinte, pero a diferencia de otras pruebas de imágenes, no utiliza radiación.

**Figura 6** Resonancia magnética de mama [5].



Por supuesto, existen algunos procedimientos adicionales. Sin embargo, en este artículo nos centraremos en herramientas de Machine Learning, que ya se usan en algunos países desarrollados, y que, seguramente ayudarían en gran manera a los médicos especialistas en los países en vías de desarrollo como México.

### **Uso de Machine Learning como herramienta de apoyo**

En primera instancia, definamos qué es el Machine Learning. El aprendizaje automático, también conocido como Machine Learning o aprendizaje estadístico, es un concepto dentro del campo de la Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, el cual se refiere a la capacidad de las máquinas

para aprender de manera autónoma a partir de grandes conjuntos de datos utilizando herramientas basadas en estadísticas, algoritmos y recursión [32].

Esto les permite clasificar información, identificar patrones y construir modelos predictivos. Cuando hablamos de "aprender", nos referimos a la habilidad de ajustar los modelos creados a partir de los errores encontrados al aplicarlos a nuevos conjuntos de datos, mejorando así la capacidad predictiva del modelo y maximizando la recompensa del algoritmo, según la definición de inteligencia en el contexto de memoria y predicción propuesta por Hawkins [32].

Es importante destacar que el aprendizaje automático no debe confundirse con el aprendizaje profundo (Deep Learning), que implica un nivel de complejidad y autonomía aún mayor. El aprendizaje profundo utiliza redes neuronales estructuradas en múltiples capas, donde cada unidad básica (llamada perceptrón) se integra en una red organizada con el objetivo de lograr los mismos propósitos, es decir, construir modelos predictivos altamente precisos. Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad de la red, la intervención humana se reduce gradualmente [9].

La aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el ámbito de la salud es cada vez más frecuente. El propósito de este artículo es mostrar lo que se está haciendo en algunas partes del mundo, y las ventajas que representa implementar estas técnicas en la medicina mundial [21].

Las ramas más comunes de la inteligencia artificial que se utilizan en el reconocimiento de imágenes son el Machine Learning, el Deep Learning y las Redes Neuronales [13].

Cabe destacar que, de los métodos de diagnóstico mencionados anteriormente, se tomarán en cuenta aquellos que generan imágenes como: mamografías, ecografías mamarias y resonancias magnéticas de mama.

Dentro de la rama del Machine Learning, existe una subrama denominada Deep Learning (aprendizaje profundo), la cual permite trabajar con redes neuronales, las cuales son esenciales para trabajar con la clasificación de imágenes.

Aunque cada aplicación se puede desarrollar bajo diferentes herramientas, mencionaremos algunas de las más completas y utilizadas en la actualidad. Algunas de ellas son:

**Pytorch:** Es una librería de Python de código abierto que ofrece herramientas para el desarrollo de redes neuronales artificiales. Este fue desarrollado por Facebook en 2017 y ha sido una pieza

fundamental en el campo de la inteligencia artificial por la sencillez de su interfaz y su capacidad para ejecutarse en GPUs [24].

**TensorFlow:** Librería de código abierto desarrollada por Google Brain Team. Estos se definen así mismo como “un equipo que se centra en realizar investigaciones fundamentales para avanzar en áreas claves de la IA y crear una mejor comprensión teórica del Deep Learning”. Tensorflow es usada para el desarrollo o la implementación de proyectos de aprendizaje automático y es el sustituto predilecto de DistBelief, que era un sistema de aprendizaje automático basado en redes neuronales de aprendizaje profundo [28].

**Keras:** Es una librería de código abierto escrita en Python para el desarrollo de redes neuronales. Esta se puede ejecutar en TensorFlow, Microsoft Cognitive Toolkit o Theanos [12].

**OpenCV:** Biblioteca de funciones de programación empleada principalmente en el campo de la visión por computador en tiempo real. Fue desarrollado originalmente por Intel, y más tarde fue apoyado por Willow Garage y por Itseez. Esta librería es multiplataforma y de código abierto [22].

**Scikit-learn:** Es una biblioteca gratuita de software para aprendizaje automático. Cuenta con varios algoritmos de clasificación, regresión y agrupación. Por otro lado, también se emplea Scikit-image o Skimage. Este último es un paquete de Python de código abierto diseñado para el preprocesamiento de imágenes. Este ofrece utilidades similares a las de OpenCV, dando la posibilidad de leer, mostrar y realizar tratamientos específicos a las imágenes [25].

### **Ejemplos de aplicación de Machine Learning utilizada en el diagnóstico de cáncer de mama.**

A continuación, se presentarán algunos casos de éxito al utilizar herramientas de Inteligencia Artificial, como Machine Learning.

Por ejemplo, el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) ha creado un sistema de inteligencia artificial basado en Deep Learning (aprendizaje profundo) que puede anticipar la aparición del cáncer de mama hasta con 5 años de antelación. Funciona al identificar patrones que indican la probabilidad de desarrollar la enfermedad. Además, este enfoque es igualmente efectivo para pacientes de diferentes orígenes étnicos, incluyendo tanto a blancos como a afroamericanos [26].

Los investigadores que trabajan en el producto también reconocieron que otros proyectos similares a menudo tenían sesgos inherentes porque se basaban abrumadoramente en poblaciones de pacientes

blancos, y diseñaron específicamente su propio modelo para que esté informado por datos "más equitativos".

Esto es clave, señala el MIT, "porque las mujeres negras tienen más de un 42 por ciento más de probabilidades que las mujeres blancas de morir de cáncer de mama, y un factor contribuyente podría ser que no estén tan bien atendidas por las técnicas actuales de detección temprana".

Esta herramienta del MIT, que se basa en mamografías y resultados de pacientes del Hospital General de Massachusetts, utiliza el aprendizaje profundo para identificar patrones. Eso no sería evidente ni siquiera observable por los médicos humanos. Debido a que no se basa en suposiciones existentes ni en conocimientos recibidos sobre los factores de riesgo, que son, en el mejor de los casos, un marco sugerente, los resultados hasta ahora han demostrado ser mucho más precisos, especialmente en el descubrimiento predictivo previo al diagnóstico.

Para establecer los primeros indicadores, se emplearon más de 90,000 estudios de alrededor de 60,000 pacientes, creando así la base inicial de conocimiento. Con este sistema de inteligencia artificial desarrollado por la profesora Regina Barzilay, se puede anticipar la detección del cáncer hasta cinco años antes de que aparezca [26].

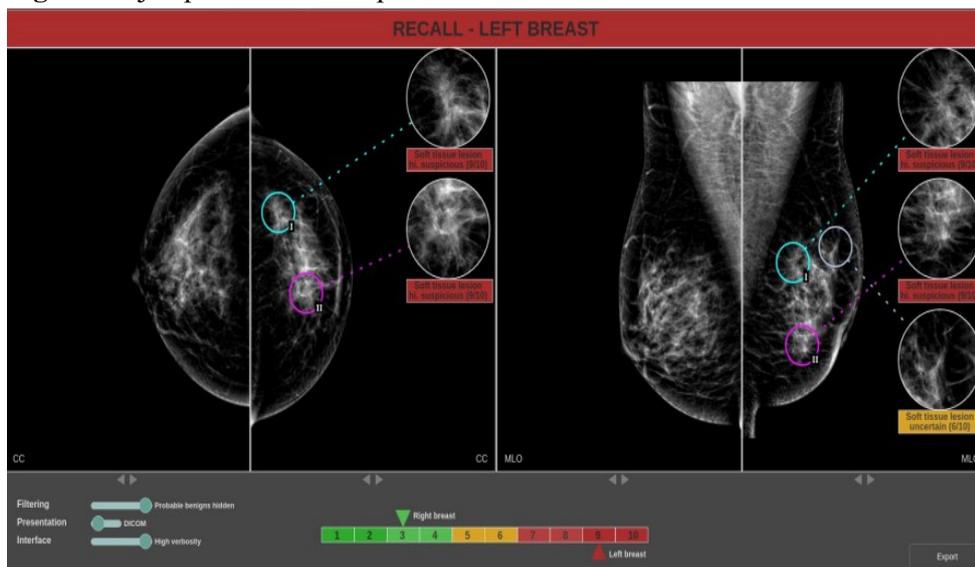
Los usuarios reales de esta solución, es decir, pacientes que desean un diagnóstico sobre las probabilidades de desarrollar cáncer de mama, aportan sus datos para construir un historial de comparación en el que se evalúan sus estudios en relación con versiones anteriores y se comparan con los patrones previamente definidos en la base de conocimiento.

Los estudios pueden personalizarse significativamente. Si un usuario tiene antecedentes de riesgo como obesidad, consumo de alcohol, antecedentes familiares de cáncer de mama, exposición a radiación, antecedentes reproductivos y hormonales y consumo de tabaco, se le solicitan estudios adicionales para obtener resultados completamente adaptados a su situación.

En general, el proyecto tiene como objetivo ayudar a los profesionales de la salud a elaborar el programa de detección adecuado para las personas bajo su cuidado y eliminar el resultado desgarrador y demasiado común del diagnóstico tardío. El MIT espera que la técnica también pueda usarse para mejorar la detección de otras enfermedades que tienen problemas similares con los modelos de riesgo existentes con demasiadas lagunas y menores grados de precisión [26].

Otro ejemplo exitoso lo tenemos con MammoScreen™. Esta es una inteligencia artificial desarrollada en Estados Unidos que analiza automáticamente mamografías escaneadas, identificando mamografías sospechosas y lesiones para los radiólogos. El software asigna una puntuación llamada "MammoScreen Score" del 1 al 10 basada en la probabilidad de malignidad y la confianza del algoritmo. En un estudio clínico de 2019 publicado en Radiology, la herramienta demostró que los radiólogos que utilizan MammoScreen obtienen mejores resultados que los que no lo hacen. Esta herramienta recibió la aprobación para su uso en la Unión Europea el 12 de enero de 2021.

**Figura 7** Ejemplo de uso de la plataforma MammoScreen™



Por supuesto, existen más casos de uso de herramientas de IA en el diagnóstico del cáncer de mama. Sin embargo, la idea de los ejemplos mencionados anteriormente es concientizar a los gobiernos de países en vías de desarrollo y a los profesionales de la salud a apoyarse en herramientas tecnológicas adicionales como las ya mencionadas a fin de brindar una atención más precisa a la hora de diagnosticar enfermedades tan letales como el cáncer de mama.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ejemplos que se mostraron en el apartado 2.4, mostraron claramente que el uso de estas herramientas favoreció el diagnóstico oportuno en la mayoría de los casos.

Es importante que las autoridades en el ámbito de la salud en México empiecen a voltear más hacia esta fascinante rama de la tecnología como lo es la inteligencia artificial.

Por supuesto, es importante contar con personal altamente calificado no solo en el área de medicina, sino que, ahora se hacen indispensable la preparación de especialistas en áreas tecnológicas como inteligencia artificial y las ramas que se derivan de ella.

La aplicación de *Machine Learning* en la detección de cáncer de mama ha tenido un impacto significativo en la medicina y la atención médica. A continuación, se presentan algunos resultados y avances notables en este campo:

**Clasificación de imágenes médicas:** Los algoritmos de *Machine Learning*, como las redes neuronales convolucionales (CNN), se utilizan para analizar mamografías y otras imágenes médicas de mama. Estos algoritmos pueden identificar anomalías, como masas o microcalcificaciones, que podrían ser indicativas de cáncer de mama. La precisión de estos modelos ha mejorado significativamente, lo que ayuda a los radiólogos a detectar el cáncer de mama en sus primeras etapas.

**Detección temprana:** *Machine Learning* ha demostrado ser útil en la detección temprana de cáncer de mama. Los algoritmos pueden analizar múltiples características de las imágenes, como la forma, el tamaño y la textura de las lesiones, para identificar tumores malignos en una etapa temprana. Esto permite un tratamiento más efectivo y mejores tasas de supervivencia.

**Predicción de riesgo:** Los modelos de *Machine Learning* también se utilizan para predecir el riesgo de desarrollar cáncer de mama. Estos modelos toman en cuenta factores de riesgo como la edad, la historia familiar y otros datos clínicos para identificar a las personas con un mayor riesgo de desarrollar la enfermedad. Esto puede ayudar en la toma de decisiones sobre la detección y el seguimiento.

Otros impactos significativos son la automatización de informes y la investigación y desarrollo de fármacos y personalización del tratamiento.

## Debate

Es importante tener en cuenta que, si bien el *Machine Learning* ha mejorado la detección y el tratamiento del cáncer de mama, no reemplaza la evaluación médica y el juicio clínico. Los resultados de los modelos de *Machine Learning* deben ser interpretados por profesionales de la salud y utilizados como una herramienta complementaria en el diagnóstico y tratamiento de esta enfermedad.

La implementación exitosa de la inteligencia artificial en el diagnóstico de cáncer de mama requiere una validación robusta, la participación activa de profesionales de la salud en el desarrollo y la

interpretación de los algoritmos, así como la consideración de aspectos éticos y regulatorios. En última instancia, la decisión de utilizar o no la inteligencia artificial en el diagnóstico debe basarse en la evaluación de la evidencia científica, los recursos disponibles y las necesidades específicas de cada entorno médico.

## CONCLUSIONES

Como mostraron los resultados del subtítulo 2.1, lamentablemente cada año se incrementan los casos de cáncer de mama en México. Por ello, es de vital importancia contar con técnicas, procedimientos y herramientas que faciliten la detección oportuna.

Además, este artículo mostró algunos de los casos de éxito que se están usando en algunos países desarrollados obteniendo magníficos resultados a la hora de detectar, diagnosticar y personalizar tratamientos de los pacientes.

La utilización de Machine Learning en la detección de cáncer de mama en México, al igual que en otros lugares, ofrece varias ventajas significativas:

**Mayor precisión:** Los algoritmos de Machine Learning pueden analizar grandes conjuntos de datos médicos y aprender patrones sutiles que pueden ser difíciles de detectar para los médicos. Esto puede llevar a una detección más temprana y precisa del cáncer de mama.

**Reducción de falsos positivos/negativos:** Al usar algoritmos de Machine Learning, es posible reducir la tasa de falsos positivos y falsos negativos en las pruebas de detección de cáncer de mama, lo que disminuye la ansiedad y el estrés de las pacientes y mejora la eficacia de las pruebas.

**Mayor velocidad y eficiencia:** Los algoritmos de Machine Learning pueden analizar grandes cantidades de datos en un tiempo mucho más corto que los médicos humanos. Esto puede acelerar el proceso de diagnóstico y tratamiento. Y, por supuesto, no podemos dejar de lado el acceso a la atención médica en áreas remotas, la reducción de costos y la mejora en la educación médica.

Solo nos resta esperar que nuevos avances mostrará a mediano y largo plazo esta fascinante herramienta denominada en su totalidad como inteligencia artificial.

## Recomendaciones

Es indiscutible que la Inteligencia Artificial está creciendo a pasos agigantados. Por lo tanto, conforme esta tecnología vaya cobrando más realce en países en vías de desarrollo en áreas como la salud,

seguramente se lograrán diagnósticos más oportunos, certeros y personalizados que permitan aumentar las expectativas de vida de pacientes con enfermedades como el cáncer de mama. Por último, hay un área denominada Computación Cuántica, la cual aunada a la inteligencia artificial y sus diversas ramas ofrecen un panorama muy alentador. En un siguiente artículo se abordará este importante tópico.

Al utilizar inteligencia artificial en el diagnóstico de cáncer de mama, es crucial seguir ciertas recomendaciones para garantizar la precisión, la seguridad y la eficacia de las herramientas desarrolladas. Algunos aspectos a tener en cuenta son:

### **Validación Rigurosa**

Realizar una validación rigurosa de los algoritmos de inteligencia artificial utilizando conjuntos de datos diversos y representativos. Esto garantiza que los modelos sean generalizables y capaces de manejar variaciones en la presentación de la enfermedad.

### **Colaboración Interdisciplinaria**

Fomentar la colaboración entre profesionales de la salud, radiólogos y expertos en inteligencia artificial. La experiencia clínica es esencial para comprender las complejidades de la interpretación de imágenes médicas y garantizar que los algoritmos sean clínicamente relevantes.

### **Transparencia y Explicabilidad**

Buscar modelos de inteligencia artificial que sean transparentes y que permitan explicar sus decisiones. La capacidad de comprender cómo un modelo llega a una conclusión es fundamental para la aceptación y confianza por parte de los profesionales de la salud.

### **Integración con la Práctica Clínica**

Integrar las herramientas de inteligencia artificial en la práctica clínica de manera armoniosa. Esto implica una interfaz de usuario intuitiva, integración con los sistemas de información médica existentes y una capacitación adecuada para el personal médico.

### **Monitoreo Continuo**

Establecer procesos de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento y la precisión de los modelos a medida que se implementan en entornos clínicos reales. Los modelos deben actualizarse y mejorar a medida que se recopilan más datos y se obtiene más experiencia.

## Consideraciones Éticas y de Privacidad

Abordar cuidadosamente las consideraciones éticas y de privacidad asociadas con el uso de datos médicos. Garantizar el cumplimiento de las regulaciones de privacidad y protección de datos es esencial para mantener la confianza del paciente.

## Comunicación Efectiva

Comunicar de manera efectiva los resultados de la inteligencia artificial a los profesionales de la salud y a los pacientes. Es crucial explicar los límites y las capacidades de la tecnología para evitar malentendidos.

## Cumplimiento Normativo

Asegurarse de que los sistemas de inteligencia artificial cumplan con los requisitos reglamentarios y de calidad aplicables en el ámbito médico.

Al seguir estas recomendaciones, se puede mejorar la implementación de la inteligencia artificial en el diagnóstico de cáncer de mama, maximizando su utilidad clínica y minimizando los riesgos asociados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Barrientos, L. Peñin, et. Al, "Coordenadas" en Fundamentos de Robótica, 2da ed., vol. 2, Ed. McGraw-Hill, España, 2007, pp. 217–29.
2. Barrón-Gallardo CA, Jave-Suarez LF, AguilarLemarroy A. Historia del cáncer de mama. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2020;58 Supl 1:S75-82.
3. Biopsia de mama femenina: MedlinePlus Enciclopedia Médica Ilustración. (s. f.). [https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp\\_imagepages/8626.htm](https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/8626.htm)
4. Datos Abiertos de México - datos.gob.mx. (s. f.). <https://datos.gob.mx/>
5. Diccionario de Cáncer del NCI. (s. f.). Instituto Nacional del Cáncer. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/mamografia>
6. E. E. Reber, R. L. Mitchell, y C. J. Carter, "Oxygen absorption in the Earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (4230-46)-3, Nov. 1968.
7. E. H. Miller, "A note on reflector arrays" [online] IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 53, pp. 475, 2005. Dirección de internet: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1549967&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1549967&tag=1)
8. G. Brandli, M. Dick, "Alternating current fed power supply," U.S. Patente 4 084 217, Nov. 4, 1978.

- Grossfeld, B. (2023, 10 julio). Aprendizaje profundo vs. aprendizaje automático. ¿En qué se diferencian? Zendesk Español.<https://www.zendesk.es/blog/machine-learning-and-deep-learning/>
9. G. O. Young, “Synthetic structure of industrial plastics” in *Plastics*, 2nd ed., vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.
  10. IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings, IEEE Standard C57.19.100-1995, Aug. 1995.
  11. Introduction to Keras for Engineers. (s. f.). Keras.io.  
[https://keras.io/getting\\_started/intro\\_to\\_keras\\_for\\_engineers/](https://keras.io/getting_started/intro_to_keras_for_engineers/)
  12. J. Basantes, F. Torres, “Desarrollo de un Sistema de Control para un Brazo Robótico mediante Adquisición y Procesamiento de Imágenes” Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Feb. 2009.
  13. J. Lau, “Directrices internacionales para la alfabetización informativa” [online]. México: Universidad Veracruzana, 2004. Dirección de internet:  
<http://bivir.uacj.mx/dhi/DoctosNacioInter/Docs/Directrices.pdf>
  14. J. P. Wilkinson, “Nonlinear resonant circuit devices,” U.S. Patent 3 624 125, July 16, 1990.
  15. J. Riess, J. J. Abbas, “Adaptive control of cyclic movements as muscles fatigue using functional neuromuscular stimulation”. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng* vol. 9, pp.326–330, 2001.
  16. L.M. Moreno, "Computación paralela y entornos heterogéneos," Tesis doctoral, Dep. Estadística, Investigación Operativa y Computación, Universidad de La Laguna, La Laguna, 2005.
  17. L. Stein, “Random patterns,” in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 2004, pp. 55-70.
  18. M. A. Brusberg and E. N. Clark, “Installation, operation, and data evaluation of an oblique-incidence ionosphere sounder system,” in “Radio Propagation Characteristics of the Washington-Honolulu Path,” Stanford Res. Inst., Stanford, CA, Contract NOBSR-87615, Final Rep., Feb. 1995, vol. 1
  19. Motorola Semiconductor Data Manual, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.
  20. Norvig, P., & Russell, S. J. (2009). *Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno* (3.a ed.). Prentice Hall.

21. OpenCV. (2023, 9 noviembre). OpenCV - Open Computer Vision Library. <https://opencv.org/>
22. Osorio BN, Bello HC, Vega BL. Factores de riesgo asociados al cáncer de mama. Rev Cubana Med Gen Integr. 2020;36(2):1-13.
23. PyTorch. (s. f.). PyTorch. <https://pytorch.org/>
24. SciKit-Learn: Machine Learning in Python — SciKit-Learn 1.3.2 documentation. (s. f.)  
<https://scikit-learn.org/stable/>
25. Slim, F. C. (2020, 16 junio). El MIT trabaja con inteligencia artificial para detectar el cáncer de mama hasta con 5 años de anticipación. Salud Digital. <https://saluddigital.com/es/big-data/el-mit-trabaja-con-inteligencia-artificial-para-detectar-el-cancer-de-mama/>
26. S.M. Newman, “Active damping control of a flexible space structure using piezoelectric sensors and actuators” Master Thesis, U.S. Naval Postgraduate School, 1992.
27. TensorFlow. (s. f.). TensorFlow. <https://www.tensorflow.org/?hl=es-419>
28. Ultrasonido mamario: estudio complementario y efectivo. (s. f.). Top Doctors.  
<https://www.topdoctors.mx/articulos-medicos/ultrasonido-mamario-estudio-complementario-y-efectivo/>
29. Vázquez, Rolando, Presentación curso “Realidad Virtual”. National Instruments. Colombia, 2009.
30. W. Rafferty, “Ground antennas in NASA’s deep space telecommunications,” Proc. IEEE vol. 82, pp. 636-640, 1994.