

SISTEMA INFORMÁTICO PARA ESTIMAR EL RIESGO DE CÁNCER DE MAMA APLICANDO TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO COMPUTER SYSTEM TO ESTIMATE THE RISK OF BREAST CANCER BY APPLYING MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Autores: Asley F. Cruz González

José M. Valencia Moreno

Everardo Gutiérrez López

Institución: Universidad Autónoma de Baja California, México

Correo electrónico: asley.cruz@uabc.edu.mx

jova@uabc.edu.mx

everardo.gutierrez@uabc.edu.mx

RESUMEN

El cáncer de mama es una enfermedad que afecta a las personas de todo el mundo, con mayores tasas de incidencia en el sexo femenino, aunque no excluye al sexo masculino. Se encuentra entre los cinco tipos de cáncer más mortíferos, teniendo mayor afluencia en los países menos desarrollados donde el acceso a los programas de salud es más deficiente. Las altas cifras de afectación y muerte son alarmantes, en la mayoría de los casos porque se detecta en etapas tardías. Se conoce clínicamente que en pacientes donde se logra detectar la enfermedad en etapas I y II se aumenta considerablemente el pronóstico de vida y las tasas de supervivencia. En el presente trabajo se propone el desarrollo de un sistema informático de carácter preventivo como proceso hospitalario orientado a Latinoamérica y el Caribe basado en factores de riesgo característicos de la población a fin de estimar la posibilidad de que las personas sean propensas a tener la enfermedad y así contribuir al diagnóstico clínico de la enfermedad en etapas iniciales. Como punto de partida se tienen los modelos estadísticos basados en cálculos sobre factores de riesgos, donde en 1989 Gail creó un modelo específicamente en la población blanca norteamericana utilizando cinco factores. Para la estimación se utilizan técnicas de aprendizaje automático que confluyen en la elaboración de un modelo computacional que permite calcular las estimaciones y arrojar dichos resultados nutriéndose de los factores de riesgos característicos para poblaciones latinas específicamente los definidos en la norma mexicana NOM-041-SSA2-2011.

Palabras clave: Aprendizaje automático, Cáncer de mama, Factores de riesgo.

ABSTRACT

Breast cancer is a disease that affects people around the world, with higher incidence rates in the female sex, although it does not exclude the male sex. It is among the five deadliest types of cancer, having the highest influx in less developed countries where access to health programs is poorer. The high rates of involvement and death are alarming, in most cases because it is detected in late stages. It is clinically known that in patients where the disease in stages I and II is detected, the life prognosis and survival rates are considerably increased. The present work proposes the development of a preventive computer system as a hospital process oriented to Latin America and the Caribbean based on risk factors characteristic of the population in order to estimate the possibility that people are prone to having the disease and thus contribute to the clinical diagnosis of the disease in its initial stages. As a starting point, we have statistical models based on calculations on risk factors, where in 1989 Gail created a model specifically in the North American white population using five factors. For the estimation, machine learning techniques are used that converge in the elaboration of a computational model that allows calculating the estimations and yielding said results feeding on the characteristic risk factors for Latino populations specifically those defined in the Mexican standard NOM-041-SSA2 -2011.

Keywords: Breast cancer, Risk factors, Machine learning.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el avance en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha supuesto un cambio en la manera en que nos comunicamos, nos relacionamos, accedemos a la información y en como la difundimos. Ha existido un debate internacional considerable en cuanto al potencial que ofrecen las TIC al sector de salud, a fin de combatir las necesidades y alentar un desarrollo sustentable.

La OMS en el documento Estrategia y Plan de Acción sobre e-Salud publicado en 2011, define la ciber salud, conocida también como e-Salud o e-Health, como el *“apoyo que la utilización costoeficaz y segura de las tecnologías de la información y las comunicaciones, ofrece a la salud y a los ámbitos relacionados con ella, con inclusión de los servicios de atención de salud, la vigilancia y la documentación*

sanitarias, así como la educación, los conocimientos y las investigaciones en materia de salud". OMS (2011).

Específicamente una de las enfermedades que se tiene bajo especial seguimiento es el cáncer, por la forma que incide y afecta a la sociedad, siendo una de las principales causas de muerte del mundo. Al cáncer se le atribuye en el 2015 un 8,8 millón de defunciones. Entre los 5 tipos de cáncer que causan mayor número de muertes se encuentra el Pulmonar, Hepático, Colorrectal, Gástrico y Mamario (OMS, 2018).

Entre el 30 y el 50 % de los cánceres se pueden evitar. Para ello, es necesario reducir los factores de riesgo y aplicar estrategias preventivas de base científica. La prevención abarca también la detección precoz de la enfermedad y el tratamiento de los pacientes. Si se detectan a tiempo y se tratan adecuadamente, las posibilidades de recuperación para muchos tipos de cáncer son excelentes (OMS, 2018).

El cáncer de mama es el cáncer más frecuente en las mujeres tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. La incidencia de cáncer de mama está aumentando en el mundo debido a la mayor esperanza de vida, el aumento de la urbanización, el aumento de la prevalencia de factores de riesgo relacionados con estilos de vida y hormonales, tales como aumento de la edad de las mujeres en su primer parto, baja paridad, largo tiempo de exposición al estrógeno, producto de menarquia temprana, menopausia tardía y baja lactancia materna. Además, en países en desarrollo se observan diferencias entre áreas de residencia urbano y rural (Icaza, Núñez y Bugueño, 2017).

Aunque reducen en cierta medida el riesgo, las estrategias de prevención no pueden eliminar la mayoría de los casos de cáncer de mama que se dan en los países de ingresos bajos y medios, donde el diagnóstico del problema se hace en fases muy avanzadas. Así pues, la detección precoz con vistas a mejorar el pronóstico y la supervivencia de esos casos sigue siendo la piedra angular del control del cáncer de mama (OMS, 2014).

El cáncer de mama es el tipo de cáncer más común y la segunda causa de muerte en las mujeres en la región de las Américas, cada año se producen más de 462.000 casos nuevos y casi 100,000 muertes por cáncer de mama. En las mujeres de América Latina y el Caribe, el cáncer de mama supone el 27 % de los nuevos casos y el 16% de las muertes por cáncer. De manera similar, entre las mujeres de

Estados Unidos y Canadá, el 24 % de los nuevos casos y el 14 % de las muertes por cáncer son por cáncer de mama. Se espera que para el 2030 se produzca un aumento del cáncer de mama en las Américas, con unos 572,000 casos nuevos y unas 130,000 muertes. El aumento de nuevos casos y muertes en América Latina y el Caribe será casi el doble que en los Estados Unidos y Canadá. (OPS y OMS, 2018).

Los programas de información, educación y consejería aumentan el conocimiento de las mujeres sobre los factores de riesgo y los signos y síntomas que requieren atención médica inmediata. Los programas de tamizaje organizados pueden detectar cánceres en etapas iniciales (World Health Organization, 2016). La mayoría de las mujeres diagnosticadas con cáncer de mama en etapas iniciales (I y II), si reciben tratamiento, tienen un buen pronóstico, con tasas de supervivencia a 5 años del 80 % al 90% (OMS y OPS, 2015).

Lamentablemente, en muchos de los países en América Latina y el Caribe las mujeres son diagnosticadas con cáncer de mama en etapas tardías. El desafío para reducir la mortalidad por cáncer de mama, especialmente en ámbitos con recursos limitados, consiste en implementar y mantener programas de educación y detección precoz, con acceso oportuno a un tratamiento adecuado y eliminando las barreras para la atención médica.

Por lo antes expuesto se identifica el siguiente problema científico: ¿Cómo estimar el riesgo de tener cáncer de mama de manera oportuna mediante el aprendizaje automático, que posibilite el diagnóstico temprano de la enfermedad?

Por lo que se propone la implementación de un sistema informático basado en técnicas de aprendizaje automático para estimar el riesgo de padecer cáncer de mama, que apoye el diagnóstico temprano de la enfermedad.

DESARROLLO

En el presente capítulo se expone el marco teórico referencial de la investigación, relacionado con las técnicas computacionales para la detección de enfermedades. Se analizan y establecen comparaciones entre las principales soluciones, herramientas y algoritmos que permiten dar solución a la problemática identificada, así como el análisis de los principales trabajos e investigaciones existentes.

Investigaciones Analizadas

1. Proyectando probabilidades individualizadas de desarrollar cáncer de seno para mujeres blancas que están siendo examinadas anualmente (Gail et al., 1989).
2. Factores de riesgo de cáncer de seno establecidos y riesgo de subtipos de tumor intrínseco (Barnard, Boekey Tamimi, 2015).
3. Predicción de cáncer de mama benigno y maligno utilizando técnicas de minería de datos (Chaurasia, Pal y Tiwari, 2018).
4. Clasificación del cáncer de mama utilizando redes de creencias profundas (Abdel-Zaher y Eldeib, 2016).
5. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA2-2011, Para la prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer de mama (Salud, 2011).
6. Soluciones informáticas

Proyectando probabilidades individualizadas de desarrollar cáncer de seno para mujeres blancas que están siendo examinadas anualmente

Esta investigación presenta un modelo de riesgo para estimar la posibilidad de que una mujer con edad y factores de riesgo determinados desarrolle cáncer de seno durante un intervalo específico. Los factores de riesgo utilizados fueron la edad de la menarquia, la edad del primer nacimiento vivo, la cantidad de biopsias previas y la cantidad de familiares de primer grado con cáncer de seno.

El modelo permitió el hecho de que los riesgos relativos asociados con biopsias de seno anteriores eran menores para las mujeres de 50 años o más que para las mujeres más jóvenes. Por lo tanto, el supuesto de riesgos proporcionales se relajó para permitir modelos de riesgos proporcionales separados para los menores de 50 años y para los de 50 años o más. El modelo asume riesgos proporcionales en rangos de edad restringidos de menos de 50 años y 50 años o más, y se subdividió el problema de estimar la probabilidad de desarrollar cáncer de seno en tres problemas:

1. Determinar qué factores de riesgo son importantes y estimar el riesgo relativo para un sujeto con una constelación dada de factores de riesgo a una edad dada en comparación con un sujeto sin los factores de riesgo identificados.
2. Estimar la tasa de riesgo basal de cáncer de mama específica por edad, que es la tasa para una mujer sin factores de riesgo identificados.

3. Proyectar la probabilidad a largo plazo de desarrollar cáncer de mama sobre la base de una consideración de los riesgos competitivos y los resultados.

Factores de riesgo de cáncer de seno establecidos y riesgo de subtipos de tumor intrínseco

Esta investigación realiza una revisión de 38 estudios para sintetizar sus resultados e identificar áreas que requieren más investigación dentro del cáncer de mama donde la definen como una enfermedad heterogénea con múltiples subtipos de tumores intrínsecos. Estos subtipos varían en la expresión del gen tumoral y el fenotipo, y se agrupan más comúnmente en cuatro subtipos principales: luminal A, luminal B, sobreexpresión de HER2 y triple negativo (o basal). En conjunto, los estudios publicados sugieren que la mayoría de los factores de riesgo de cáncer de seno establecidos reflejan factores de riesgo para el subtipo luminal A de cáncer de seno, y algunos factores de riesgo de cáncer de seno pueden estar asociados diferencialmente con otros subtipos de tumores intrínsecos.

Factores de riesgo evaluados:

1. Edad de menarquia
2. Paridad
3. Edad al primer nacimiento
4. Duración de la lactancia materna
5. Edad de menopausia
6. Antecedentes familiares de cáncer de mama
7. Uso de alcohol
8. Uso de anticonceptivos orales
9. Uso de la terapia hormonal menopáusica

Se observó un riesgo elevado de cáncer luminal A entre las mujeres con factores de riesgo que conferirían un mayor número de ciclos hormonales de por vida, como una edad más temprana en la menarquia, no usar anticonceptivos orales, menos embarazos, edad más avanzada en la menopausia y uso de hormonas menopáusicas. Además, el riesgo de cáncer luminal A se asoció positivamente con antecedentes familiares de cáncer de seno, el factor de riesgo establecido más fuerte y más consistente, y se asoció negativamente con la duración de la lactancia materna.

El subtipo luminal B fue similar al subtipo luminal A en su asociación con los antecedentes familiares de cáncer de mama y la duración de la lactancia materna. De los factores de riesgo establecidos restantes, la edad en la menarquia posiblemente se asoció con cáncer luminal B. Ningún otro factor de riesgo reproductivo demostró una asociación obvia con el cáncer luminal B, y las relaciones entre otros factores de riesgo del estilo de vida y el cáncer luminal B quedaron por determinar.

Predicción de cáncer de mama benigno y maligno utilizando técnicas de minería de datos

El objetivo de este trabajo de investigación es presentar un informe sobre el cáncer de mama en el que aprovechamos los avances tecnológicos disponibles para desarrollar modelos de predicción para la supervivencia del cáncer de mama. Utilizamos tres algoritmos populares de minería de datos (Naive Bayes, RBF Network, J48) para desarrollar los modelos de predicción utilizando 683 casos de cáncer de mama. También utilizaron métodos de validación cruzada 10 veces para medir la estimación imparcial de los tres modelos de predicción para fines de comparación de rendimiento. Los resultados (basados en el conjunto de datos de precisión promedio del Cáncer de Mama) indicaron que Naive Bayes es el mejor predictor con un 97.36 % de precisión en la muestra reservada (esta precisión de predicción es mejor que la reportada en la literatura), RBF Network resultó ser el segundo con una precisión del 96.77 %, J48 salió tercero con una precisión del 93.41 %.

Clasificación del cáncer de mama utilizando redes de creencias profundas

En esta investigación se ha desarrollado un esquema para la detección del cáncer de mama utilizando una ruta no supervisada de la red de creencias profundas seguida de una ruta supervisada de propagación hacia atrás. La construcción es una red neuronal de propagación hacia atrás con la función de aprendizaje Liebenberg Marquardt, mientras que los pesos se inicializan desde la ruta de red de creencias profundas. La técnica se probó en el conjunto de datos (imágenes médicas) de cáncer de mama de Wisconsin. El complejo clasificador proporciona una precisión del 99,68 %, lo que indica resultados prometedores sobre los estudios publicados anteriormente. El sistema propuesto proporciona un modelo de clasificación efectivo

para el cáncer de mama. Además, examinamos la arquitectura en varias particiones de prueba de entrenamiento.

Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA2-2011, Para la prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer de mama

La norma se encarga de definir, establecer, así como promover conductas saludables, organizar la detección, mejorar los procesos de diagnóstico y asegurar un tratamiento oportuno y adecuado del cáncer de mama, a través de la vigilancia epidemiológica y el control de calidad. Dicha norma se centra en la población mexicana a fin de disminuir los altos índices de defunciones principalmente en la población de sexo femenino. Establece los lineamientos para la promoción de la salud, prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica de este padecer.

Distingue a los factores de riesgos y los separa en cuatro grupos. Los primeros no son modificables, los segundos escapan al control de la población, los del tercer grupo se asocian a beneficios en la salud reproductiva mayores que las posibles desventajas y los del cuarto grupo son modificables y se enfocan a promover las conductas favorables a la salud que disminuyan el riesgo de desarrollar cáncer de mama.

Grupos y factores

1. Biológicos
 - a. Sexo
 - b. Edad (envejecimiento, a mayor edad mayor riesgo)
 - c. Antecedentes de cáncer (historia personal o familiar de cáncer de mama en madre, hijas o hermanas)
 - d. Antecedentes de hallazgos de hiperplasia ductal atípica, imagen radial o estrellada, así como carcinoma lobulillar in situ por biopsia.
 - e. Vida menstrual de más de 40 años (menarca antes de los 12 años y menopausia después de los 52 años)
 - f. Densidad mamaria
 - g. Ser portador conocido de los genes BRCA1 o BRCA2
2. Iatrogénicos o ambientales
 - a. Exposición a radiaciones ionizantes principalmente durante el desarrollo o crecimiento (in útero, en la adolescencia)

- b. Tratamiento con radioterapia en tórax
- 3. Historia reproductiva
 - a. Nuligesta
 - b. Primer embarazo a término después de los 30 años de edad
 - c. Terapia hormonal en la peri o postmenopausia por más de cinco años. Las mujeres candidatas a recibir esta terapia deberán tener una evaluación clínica completa y ser informadas sobre el riesgo mayor de padecer cáncer de mama, así como contar con estudio mamográfico basal (previo al inicio de la terapia y un control posterior a los 6 meses de iniciada la terapia) para evaluar los cambios de la densidad mamaria.
- 4. Estilos de vida
 - a. Alimentación rica en carbohidratos y baja en fibra
 - b. Dieta rica en grasas tanto animales como ácidos grasos trans
 - c. Obesidad, principalmente en la postmenopausia
 - d. Sedentarismo
 - e. Consumo de alcohol mayor a 15 g/día
 - f. Tabaquismo

Soluciones informáticas

1. Basado en el modelo estadístico creado por el Dr. Mitchell Gail para la predicción de cáncer de mama en población estadounidense y sus adecuaciones el Instituto Nacional del Cáncer (NIH) de Estados Unidos tiene pública la herramienta nombrada Calculadora de Riesgo que arroja como resultado los porcentos de que una persona pueda desarrollar cáncer de mama a cinco años de edad y para toda la vida independientemente (*Breast Cancer Risk Assessment Tool*, 2017).
2. También el Consorcio de Vigilancia del Cáncer de Mama de Estados Unidos tiene publicada la herramienta Calculadora de Riesgo BCSC para estimar el riesgo a cinco años de una mujer de desarrollar cáncer de mama invasivo, dicha herramienta es basada sobre el mismo modelo estadístico para la población norteamericana (Tice et al., 2019).
3. El Centro de Cáncer Peter MacCallum de Australia tiene la herramienta nombrada iPrevent. Es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre la evaluación del riesgo de cáncer de mama y la gestión del riesgo diseñada para

facilitar las discusiones de prevención y detección entre las mujeres y sus médicos (Lo et al., 2018).

4. En el proyecto de maestría de Hugo Lencastre de la Universidad de Lisboa en Portugal desarrolla un sistema de diagnóstico asistido por computadora (CADx) mediante el método Design Thinking enfocado en apoyar a los especialistas que hacen los diagnósticos. Esta herramienta tiene como base de entrada imágenes médicas para su cálculo predictivo específicamente imágenes de mamografías para el diagnóstico asistido de cáncer de mama (Lencastre, 2020).

En los estudios anteriormente analizados se define para el primer caso un modelo estadístico basado en factores de riesgos en una población estadounidense de sexo femenino y raza blanca con el objetivo de calcular la probabilidad de que una persona puede tener dicha enfermedad a cinco años. En la segunda investigación identifican áreas que requieren más atención dentro del cáncer de mama a través de estudios y los factores de riesgos identificados en los mismos. En las últimas dos investigaciones se realizan sistemas de diagnóstico de cáncer de mama utilizando como fuente de datos imágenes médicas y diferentes técnicas computacionales de inteligencia artificial para lograr los resultados.

En la norma Mexicana NOM-041-SSA2-2011 se definen las conductas para organizar la detección a fin de mejorar los procesos de diagnóstico y asegurar un tratamiento oportuno y adecuado de esta enfermedad, en su desarrollo se establecen los factores de riesgos característicos y representativos para la población femenina de este país. Por último, entre los sistemas analizados se hacen predicciones basadas en las diferentes poblaciones para los que están destinados los sistemas con sus rasgos o características representativas y los sistemas que se enfocan en usar imágenes médicas para ayudar a la toma de decisiones hospitalarias con diagnósticos asistidos.

Tabla 1 Comparación de las investigaciones analizadas

Investigación	Fuente de datos		Objetivo	Resultado
	Factores de riesgo	Imágenes médicas		
1	X		Calcular la probabilidad del cáncer de mama en una persona.	Modelo estadístico de predicción

2	X		Agrupar los factores de riesgos más significativos	Establecimiento de los factores de riesgo representativos para el cáncer de mama en los estudios analizados
3		X	Modelos computacionales de predicción para la supervivencia del cáncer de mama	Tres modelos computacionales sobre diferentes algoritmos de inteligencia artificial.
4		X	Modelo computacional para realizar diagnóstico	Modelo computacional con técnicas de inteligencia artificial.
5	Norma establecida sobre la población mexicana para mejorar los procesos de diagnóstico y asegurar un tratamiento oportuno y adecuado del cáncer de mama, a través de la vigilancia epidemiológica y el control de calidad. Se establecen los factores de riesgo representativos de dicha población.			

Tabla 2. Comparación de los sistemas analizados

Sistema	Fuente de datos		País	Objetivo
	Factores de riesgo	Imágenes médicas		
1,2,3	X		Estados Unidos y Australia	Predecir la posibilidad de que una persona tenga o desarrolle cáncer de mama.
4		X	Portugal	Diagnóstico asistido en apoyo a la toma de decisiones hospitalarias.

Análisis hospitalario del proceso de atención al paciente por consulta a cáncer de mama.

Teniendo como punto de partida el Hospital General de Ensenada en Baja California México, específicamente en el área referente al cáncer de mama actualmente el proceso se enfoca en recibir al paciente que puede llegar desde un remitido externo o por su propia voluntad al área de planificación familiar donde es atendido por una enfermera que procede a realizarle la exploración mamaria en búsqueda de anomalías físicas referentes a este padecer y le genera un Estudio de Detección siendo este un documento que incluye sus datos personales y los datos capturados tras la exploración mamaria. Luego en dependencia de las observaciones realizadas

por la enfermera se le agenda un turno con el técnico radiólogo donde se le realiza una mamografía y en base a estos resultados el paciente es atendido posteriormente por un oncólogo que puede realizarle alguna biopsia o ultrasonidos y si identifica un caso positivo a cáncer de mama se le aplica el tratamiento recomendado.

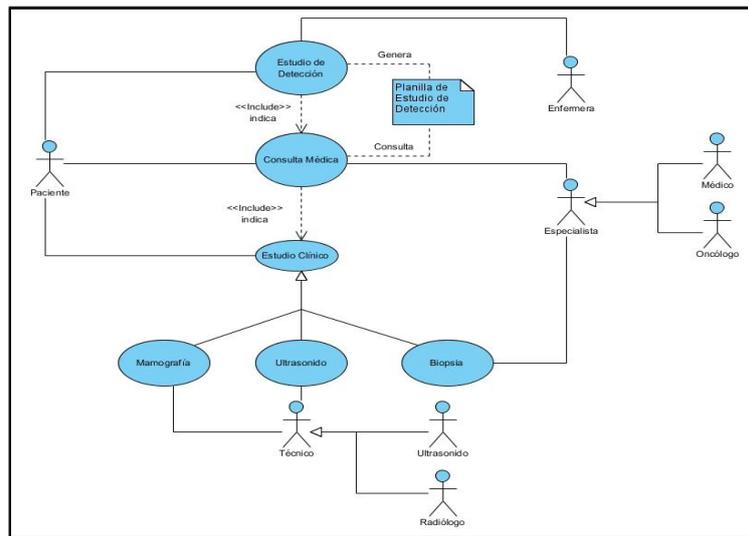


Figura 1 Proceso de atención al paciente

Propuesta

Una vez analizados y definidas las bases de la investigación se propone desarrollar un sistema informático para estimar el riesgo de que una persona tenga cáncer de mama utilizando técnicas de clasificación como parte del aprendizaje automático. El sistema calculará las estimaciones a través de un modelo computacional previamente elaborado en base a técnicas de aprendizaje automático, alimentado de factores de riesgos extraído de la población latinoamericana de sexo femenino. Los factores de riesgos a emplear son los definidos en la Norma Mexicana NOM041-SSA22011.

La propuesta está compuesta por dos grandes módulos el primero enfocado a la prevención y concientización de las personas, donde se pueda brindar información a quien lo consulte y también que permita y mediante un formulario introduzcan anónimamente sus factores de riesgos y este en base a los cálculos arroje la mejor sugerencia aplicada a su caso en particular. Como segundo módulo se pretende que en el llenado de la Planilla de Estudio de Detección mediante el sistema propuesto se arrojen los resultados calculados de la estimación en tiempo real por el modelo de aprendizaje automático de también contribuir a la toma de decisiones hospitalarias.

La novedad científica de la investigación se expresa en el siguiente aporte práctico, un sistema informático como apoyo a la toma de decisiones hospitalarias y la concientización de las personas basado en el cálculo de estimación a riesgo de tener cáncer de mama, aplicando técnicas de clasificación como parte del aprendizaje automático.

CONCLUSIONES

Una vez analizado el campo correspondiente al cáncer de mama, sus necesidades, índices de incidencia y afectaciones en la población mundial haciendo énfasis en américa latina y el caribe, dio paso a la emergente necesidad de apoyar y fomentar los procesos preventivos en dicha enfermedad. Posibilitando un diagnóstico clínico en etapas previas a la enfermedad apoyado de la propuesta de solución de un sistema informático que analice los factores de riesgos de las personas y arroje los resultados correspondientes tras la implementación de un modelo computacional nutrido de datos históricos de factores de riesgos representativos y correspondidos en la norma mexicana NOM-041-SSA2-2011. De este modo se apoya la toma de decisiones en el ámbito hospitalario y fomenta la conciencia en las personas que realicen su prueba personal a través de la interfaz para estimar probabilidad en sus factores de riesgos individuales. Una vez implementado y puesto en práctica se espera mayor índice de personas atendidas en los hospitales correspondientes al área de cáncer de mama y de esta forma contribuir a la detección temprana para así disminuir las muertes por dicha enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-ZAHER, A. M., Y ELDEIB, A. M. (2016). Breast cancer classification using deep belief networks. *Expert Systems with Applications*, No. 46, pp. 139–144. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.015> Visitado el 21 de enero de 2021.
- BARNARD, M. E., BOEKE, C. E. y TAMIMI, R. M. (2015). Established breast cancer risk factors and risk of intrinsic tumor subtypes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Cancer*, Vol. 1856, No. 1, 73–85. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.BBCAN.2015.06.002> Visitado el 21 de enero de 2021.
- Breast Cancer Risk Assessment Tool. (2017) Disponible en <https://bcrisktool.cancer.gov/about.html> Visitado el 1 de enero de 2021.
- CHOURASIA, V., PAL, S. y TIWARI, B. B. (2018). Prediction of benign and malignant

- breast cancer using data mining techniques. *Journal of Algorithms and Computational Technology*, Vol. 12, No. 2, pp.119–126. Disponible en <https://doi.org/10.1177/1748301818756225> Visitado el 1 de febrero de 2021.
- GAIL, M. H., ...[et al.] (1989). Projecting individualized probabilities of developing breast cancer for white females who are being examined annually. *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 81, No. 24, pp.1879–1886. Disponible <https://doi.org/10.1093/jnci/81.24.1879> Visitado el 1 de febrero de 2021.
- ICAZA, G., NÚÑEZ, L., y BUGUEÑO, H. (2017). Descripción epidemiológica de la mortalidad por cáncer de mama en mujeres en Chile Epidemiological analysis of breast cancer mortality in women in Chile. *Rev Med Chile*, 145, p.106–114.
- LENCASTRE, H. (2020). *Master Project: Breast Cancer Multimodality Scalable Interactions Breast Cancer Multimodality Scalable Interactions Master Project. January*. Disponible en <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35800.24329/4> Visitado el 21 de enero de 2021.
- Lo, L. L. ...[et al.] (2018). The iPrevent Online Breast Cancer Risk Assessment and Risk Management Tool: Usability and Acceptability Testing. *JMIR Formative Research*, Vol. 2, No. 2, e24. Disponible en <https://doi.org/10.2196/formative.9935> Visitado el 15 de enero de 2021.
- OMS (2011). Estrategia y Plan de Acción sobre e-Salud.
- OMS. (2014). OMS | Cáncer de mama: prevención y control. *WHO*.
- OMS. (2018). *Cáncer*. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer> Visitado el 15 de enero de 2021.
- OMS, y OPS. (2015). Planificación De Programas Integrales Contra El Cáncer De Mama: Un Llamado a La Acción. *The Breast Health Global Initiative*. Disponible en <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2015/planificacion-programas-cancer-mama.pdf> Visitado el 21 de enero de 2021.
- OPS, y OMS. (2018). Cáncer de mama en las Américas-2018. 2. Disponible en <https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD> Visitado el 21 de enero de 2021.
- SALUD, S. (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA2-2011, Para la prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer de mama. *Diario Oficial de La Federación*, p.1–36.
- TICE, J. A., ...[et al.] (2019). Validation of the breast cancer surveillance consortium

model of breast cancer risk. *Breast Cancer Research and Treatment*, Vol.175, No. 2, pp. 519–523. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10549-019-05167-2>
Visitado el 21 de enero de 2021.

World Health Organization. (2016). Resumen De Conocimientos Prevención : Factores De Riesgo Y Prevención. The Breast Health Global Initiative, 1–12.