

La inteligencia artificial en los marcadores tumorales

Artificial intelligence in tumor markers

Augusto Cortez-Vásquez

<https://orcid.org/0000-0002-5188-7962>
acortezv@unmsm.edu.pe

Luzmila Pro-Concepción

<https://orcid.org/0000-0003-0622-1173>
lproc@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática
Lima, Perú

RECIBIDO: 15/10/2023 - ACEPTADO: 14/11/2023 - PUBLICADO: 30/12/2023

RESUMEN

El presente artículo tiene como propósito hacer una revisión literaria acerca de los marcadores tumorales (MT) y como pueden ser tratados mediante técnicas de inteligencia artificial. Los MT están compuestos de moléculas que pueden estar en cantidad elevada y que se manifiesta como reacción del paciente ante el tumor. La utilidad de los MT se determina por la sensibilidad y especificidad de cada uno de ellos. El propósito de esta revisión es hacer un repaso de los marcadores tumorales más utilizados en la práctica clínica y de la inteligencia artificial para descubrir conocimientos que ayuden a mejorar la toma de decisiones en bien de la salud de los pacientes.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Marcadores tumorales, Cáncer. Diagnóstico. Screening poblacional, Inteligencia artificial generativa, inteligencia artificial analítica.

ABSTRACT

The purpose of this article is to make a literary review about tumor markers (TM) and how they can be treated using artificial intelligence techniques. MTs are composed of molecules that may be in high quantities and that manifest as the patient's reaction to the tumor. The usefulness of MTs is determined by the sensitivity and specificity of each of them. The purpose of this review is to review the tumor markers most used in clinical practice and artificial intelligence to discover knowledge that helps improve decision-making for the health of patients.

Keywords: Artificial Intelligence, Tumor markers, Cancer. Diagnosis. Population screening, Generative artificial intelligence, analytical artificial intelligence.

I. INTRODUCCIÓN

Desde que Alan Turing, ya hace siete décadas sentó las bases de la Inteligencia Artificial (IA) con su artículo "Computing Machinery and Intelligence", se han dado pasos agigantados de la computación e informática, en especial la IA, ha comenzado a transformar el mundo en todos los sectores productivos, en especial en el sector médico-asistencial moderno. Los algoritmos de IA y otras aplicaciones impulsadas por IA ayudan a los profesionales del sector salud, como instrumento para la toma de decisiones clínicas en forma oportuna y relevante. Los Marcadores tumorales (en adelante MT) también conocidos como biomarcadores consisten de sustancias generadas por el organismo cuando detecta un tumor maligno (cáncer). Estas sustancias se ubican en fluidos corporales (sangre, orina, etc.), también se detectan en las muestras de células obtenidas de un tumor, mediante una biopsia (Lamana, 2023). Uno de los más frecuentes es el cáncer gástrico, a pesar de que en las últimas décadas ha disminuido su incidencia en los países occidentales (Mora, 2005) debido a la proliferación de investigaciones realizadas. Alshereideh denomina MT al conjunto de sustancias contenidas en el plasma en cantidades que sobrepasan los niveles determinados, y que están relacionados con la estructura de algunos tipos de tumores (Alshereideh, 1998). Las estadísticas revelan que el cáncer de pulmón es el de mayor incidencia y mortalidad en Estados Unidos y en general en todo el mundo (E-Cancer, 2023). Solo en el 2020, se detectaron 2,26 millones de casos de cáncer del pulmón en todo el mundo, con 1,8 millones de fallecimientos (un 18% del total). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer estima que la incidencia de **cáncer de pulmón** podría aumentar en un 47% para el año 2040, si no se toman medidas preventivas (MSP, 2023).

II. METODOLOGÍA

El trabajo es de naturaleza exploratoria, revisa en forma exhaustiva multiplicidad de fuentes que estudian la IA y sus aplicaciones en los MT. Se hace también una reflexión crítica sobre repercusiones éticas y legales.

III. MARCADORES TUMORALES

Un marcador tumoral también llamado Biomarcadores consiste de una sustancia que se encuentra en la sangre, en la orina o en el tejido corporal. La denominación "marcadores tumorales" se refiere a las proteínas que generan las células sanas y las células cancerosas del organismo (Cancer.Net, 2022).

Tipos

Según (NIH, 2023), los MT pueden ser de dos tipos: marcadores de células tumorales circulantes y marcadores de tejido tumoral.

Marcadores tumorales circulantes (MTC): se encuentran en los fluidos corporales como la sangre, la orina, la materia fecal u otros fluidos de un paciente que padece cáncer. Los MTC son de mucha utilidad para determinar el pronóstico del cáncer e incluso su estadio, detectar también el cáncer residual después del tratamiento o que regrese después del tratamiento, evaluar la funcionalidad de un tratamiento o verificar si el tratamiento dejó de funcionar.

Marcadores tumorales en tejido (MTT): se encuentran generalmente en muestras del tumor que se obtienen durante una biopsia. Los MT se usan para las fases: diagnosticar, clasificar el cáncer, calcular el pronóstico y elegir el tratamiento adecuado

Los MTT indican si una persona es apta para someterse a una terapia dirigida se denominan también biomarcadores para el tratamiento de cáncer. Generalmente las pruebas para estos biomarcadores son de tipo genética que buscan cambiar la estructura en los genes que contribuyen a la formación del cáncer (NIH, 2023)

Las manifestaciones para neoplásicas más frecuentes asociadas al cáncer de mama son la hipercalcemia, la dermatomiositis, la acantosis nigricans, las enfermedades neuromusculares para neoplásicas y mucho más raros el síndrome de Cushing y las diátesis hemorrágicas (Baena, 1995)

Principales marcadores tumorales

Los MT son muy utilizados desde hace más de 30 años. Diversos autores han dedicado investigaciones sobre la gran cantidad de marcadores tumorales, siendo los más utilizados los que señala Bonilla (Bonilla-Sepulveda, 2020) (ver Tabla 1).

Características de los MT

Displasia: se refiere a la presencia de celular anormales en tejidos u órganos y los mecanismos reguladores encargados de mantener su equilibrio no pueden controlar lo que produce un cúmulo de células que generan un bulto o tumor;

Neoplasia: se refiere a la variación (forma, tamaño y función) de las células, distorsionando su funcionalidad. Al adquirir nuevas propiedades se distorsionan propiciando el carácter maligno (cáncer);

Tabla 1*Principales marcadores tumorales.*

AFP o Alfa-fetoproteína, mide la cantidad de alfafetoproteína(AFP) en una muestra de sangre, específicamente del carcinoma hepatocelular así como también de cáncer de ovarios y de testículos.	B2M o Beta-2- microglobulina, específicos de Mieloma múltiple y de algunas leucemias (LLC) y linfomas
NSE o Enolasa neuronal específica, se emplea en tumores de origen neuroectodérmico,(carcinomas de pulmón, tumores carcinoides intestinales o en neuroblastomas).	CEA o Antígeno carcinoembrionario, específico del cáncer colorrectal y también de los cánceres de estómago, pulmón, tiroides, páncreas, mama y ovarios.
BTA o antígeno del tumor de vejiga y NMP22 o proteínas de la matriz nuclear,	CgA o cromogranina A, específica de tumores neuroendocrinos (tumores carcinoides, neuroblastomas, feocromocitoma y paraganglioma).
CA 125, específico del cáncer epitelial de ovario	CA15.3 y CA 27.29, ambos específicos del cáncer de mama.
CA 19.9, específico del cáncer de páncreas.	Calcitonina, específica del carcinoma medular de tiroides.
HCG o Gonadotropina coriónica humana, específico de tumores de las células germinales.	PSA o Antígeno prostático específico
CYFRA 21, relacionado con el cáncer de pulmón.	SCC o Antígeno a carcinoma de células escamosas,

capacidad de invasión, el cáncer puede extenderse por el organismo, lo que se conoce como metástasis, que es la principal causa de muerte por cáncer (Moreno, 2015).

Limitaciones de los MT

Las pruebas de MT no siempre son perfectas, pueden presentarse inconvenientes o limitaciones:

- Algunas personas padecen de alguna enfermedad no relacionada con procesos tumorales. Sin embargo, producen cantidades elevadas de algún MT
- Variabilidad en los niveles de los marcadores independiente del proceso tumoral.
- Frecuentemente se utilizan MT que no son específicas para el cáncer y no todos los algoritmos son precisos para cierto grupo de datos, dado que estos no fueron representativos (NIH, 2023)

Riesgos

Debe realizarse el diagnóstico de los tumores cerebrales con sumo cuidado con el fin de no comprometer la función cognitiva de la persona. La IA considera este riesgo, por ello se ha estudiado la implementación mediante la máquina de revisión y evaluación de histopatología por criosección o CHARM (Bateson, 2023) (Ramirez, 2023).

Sesgo e imparcialidad en la asistencia sanitaria basada en IA Los algoritmos de IA entrenados con datos sesgados o incompletos pueden perpetuar o amplificar los sesgos y desigualdades existentes en los sistemas sanitarios. Las consideraciones de parcialidad e imparcialidad son especialmente

críticas en el contexto de la raza, el género y los factores socioeconómicos (Poveda, 2023)

Usos de MT

- Detectar cáncer.
- Guiar decisiones de tratamiento.
- Comprobar el progreso del tratamiento.
- Predecir la probabilidad de recuperación.
- Pronosticar la recurrencia.

IV. IV INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL CÁNCER

La IA tiene como propósito crear sistemas capaces de simular (realizar tareas que normalmente se realizan con) la inteligencia humana (Franganillo, 2023), siendo el reto más ambicioso de la informática actual, basta ver en nuestro alrededor para notar la influencia de la IA en diversas actividades cotidianas, específicamente la IA se ha convertido en un factor clave en la investigación, diagnóstico y tratamiento de múltiples enfermedades (Leija, 2009). Los adelantos de IA y Machine learning(ML) vislumbran una atención del cáncer en forma personalizada y equitativa que logren resultados de la salud en general. Lo resaltante es que a partir de estas herramientas puede generarse conocimientos a partir de grandes volúmenes de datos, permitiendo ayudar en la toma de decisiones, cuando se requiera realizar intervenciones, y tratamientos de precisión del cáncer (Luthy, 2022). Estos logros se deben a la mejora en la precisión y la eficiencia de los diagnósticos y los tratamientos, puesto que las imágenes médicas obtenidas serán de mayor calidad.

En un estudio realizado por la *Academic Radiology* se mostró que un radiólogo dedica entre 3 a 4 segundos para interpretar cada imagen manteniendo el ritmo de trabajo diario. La IA generativa presenta la ventaja de que los componentes de IA en radiología y análisis de imágenes serán más eficientes sobre todo porque se podrán tratar mayor cantidad de datos que los humanos. En diversas partes del mundo, diferentes investigadores están desarrollando diversas formas de diagnosticar el cáncer diverso tipo vislumbrándose un enorme potencial de la IA en oncología (Loayza-Bonilla, 2021)

4.1. Deep learning (DL)

El Instituto de Tecnología de Massachusetts realiza frecuentemente investigaciones que han conducido a elaborar un modelo de predictivo para el cáncer de mama basado en el aprendizaje profundo (*deep learning- DL*), para ello identifica patrones que permiten anticiparse hasta con 5 años la predisposición a la enfermedad. (Salud-Digital, 2023). Lo relevante del sistema es que a partir del análisis de abundantes datos percibe con mayor amplitud los cambios en el tejido mamario (evitando confusiones con factores hormonales y biológicos) (MIT, 2022). La *Radiology: Artificial Intelligence* publicó el resultado de un estudio realizado por investigadores de la Facultad de Medicina de la Universidad de Washington, consiste de un modelo de *deep learning* que clasifica un tumor cerebral como uno de los seis tipos comunes utilizando un solo escaneo de resonancia magnética 3D (Domb, 2023).

4.2. Machine learning (ML)

El *machine learning* (ML) es un subcampo de la IA, que estudia la capacidad de las máquinas para aprender, el ML dota al computador la capacidad de identificar patrones a partir de datos masivos que servirán para realizar predicciones, mejorando así su desempeño. El ML recopila datos en diferentes formatos (números, fotos o texto). Luego particiona en dos subconjuntos: uno para usarse como material de entrenamiento y otro para material de evaluación. Como resultado se obtiene un modelo que se puede utilizar posteriormente con diferentes conjuntos de datos (Luthy, 2022). En el caso de las pruebas de MT, la intención es buscar marcadores tumorales (en ocasiones llamados marcadores de cáncer). Aunque puede confundirse dado que tanto ML y DL logran trabajar de forma autónoma, existe una marcada diferencia entre ambas disciplinas, mientras que ML requiere de una mayor intervención humana para lograr los resultados esperados, el DL puede lograr la autonomía.

4.3. Inteligencia artificial generativa IAGen

IAGen hace referencia a una nueva generación de algoritmos de IA capaces de crear contenido mediante técnicas de aprendizaje automático. Puede decirse que su propósito es la creación de nuevos datos o contenidos a partir de datos existentes o de cero. Estos algoritmos se entrenan con datos existentes y, tras su aprendizaje, son capaces de generar nuevos contenidos (texto, audio, video, imagen, código, etc.) como si éstos hubieran sido generados por un humano (Rodríguez, 2023). La IAGen utiliza dos redes neuronales, la primera llamada «generador», crea datos sintéticos que se parecen a los datos de entrenamiento, mientras que la segunda, llamada «discriminador», evalúa los datos generados e identifica su similitud con los datos reales (QuestionPRO, 2023).

4.4. Inteligencia artificial analítica IAA

La IAA hace referencia a una nueva generación de algoritmos de IA cuyo propósito es extraer información relevante y útil de una base de datos ya existente y utilizarla para detectar patrones, tendencias y correlaciones con mayor rapidez que un cerebro humano. La IAA se puede aplicar a la salud para detectar anomalías, predecir resultados o recomendar acciones.

4.5. Chatbots asistenciales (CA)

También llamados robots conversacionales son softwares entrenados para entablar conversaciones sobre determinados temas de forma autónoma. Los CA son de gran ayuda, utilizan la IA para interactuar con los pacientes y resolver sus dudas sobre situaciones con síntomas básicos de enfermedades. (Casazola, 2021)

Desde que startup OpenAI¹ en 2022, puso a disposición del público ChatGPT de forma gratuita y masiva, el mundo quedó fascinado por el acceso en forma gratuita a las bondades de un modelo de lenguaje con una interfaz de usuario amigable.

La proliferación de estas interfaces inteligentes reducen la carga de trabajo de los servicios asistenciales de atención primaria, prestando un servicio de atención básico a profesionales (médicos y enfermeras), pacientes e incluso a sus familiares. Involucra la gestión y toma de medicamentos hasta asistencia remota de emergencias en fase primaria pasando por ayuda en situaciones de primeros auxilios. Uno de los CA más importantes es One Remission² diseñado para facilitar la vida y proporcionar información útil a los pacientes oncológicos y

sus familiares. Puede incluso, ofrece la posibilidad de recurrir a un oncólogo cuando sea necesario...

4.6. Generación de modelos moleculares:

La IAG puede a partir de datos químicos o biológicos, optimizar modelos moleculares existentes o crear nuevos. Estos modelos pueden ser analizados en sus estructura³ (examinando la reactividad en su forma tridimensional de una molécula), propiedades físicas o actividades, permitiendo así una aceleración en el descubrimiento y el diseño de nuevos fármacos, vacunas y biomateriales (Palacios, 2013). El proceso para descubrir y desarrollar fármacos es muy largo, costoso y complejo, implica varias etapas, siendo la primera la identificación y la optimización de las moléculas biológicamente activas, actividad que se realizaba con métodos convencionales (cribado fenotípico); con los avances de métodos computacionales este proceso se agilizó, y ahora más aun con la IA. Todo lo anterior se traduce en un beneficio sustancial con el ahorro de recursos, y la obtención de mejores resultados (obtención de fármacos con menos efectos secundarios) (Olascoaga-Del Angel, 2022).

1. **startup OpenAI OpenAI es fundado como un laboratorio de investigación de inteligencia artificial sin fines de lucro por Elon Musk, Sam Altman y otros, con un enfoque en el desarrollo de IA amigable.**
2. **OneRemission se lanzó con el objetivo de ayudar a los sobrevivientes, luchadores y simpatizantes del cáncer a aprender más sobre el cáncer y la atención médica poscáncer.**
3. **Las representaciones de la estructura molecular como vectores, conocidos también como huellas moleculares (fingerprints) han sido propuestas dado su aún más eficiente comportamiento algorítmico**

V. REFLEXIÓN CRÍTICA DEL USO DE IA EN LA SALUD

Las soluciones derivadas de la IA se ponen a disposición de personas que en muchas situaciones no tienen formación o entendimiento sobre el uso correcto y las limitaciones y/o restricciones de dichas herramientas, esto puede conducir a diagnósticos erróneos que pueden causar daños en lugar de mejoras a los pacientes.

En muchos casos los algoritmos se entrenan con datos llamados "inocentes", puede ser que hayan sido recogidos con datos de pacientes que hayan

padecido una enfermedad tomados de pacientes que hayan permanecido en un mismo centro de salud, por tal razón los resultados serán válido para ese colectivo. El algoritmo aprenderá a diagnosticar mejor a algunos colectivos, introduciendo sesgos socioeconómicos que perjudique a los colectivos más desfavorecidos.

Se crea una problemática cuando se ocasiona un daño a una persona o a un colectivo. Quien se responsabiliza del daño, el que diseño el algoritmo, el que uso. Lamentablemente la legislación en el uso de la IA va muy por detrás del desarrollo tecnológico. El 05 de julio de 2023, se publicó la **Ley 31814**, (Congreso Republica, 2023) que promueve de uso de la IA, en el marco del proceso nacional de transformación digital. Sin embargo debe resaltarse que en el contexto mundial, debido a la complejidad de la IA, no existe una ley específica para regular el uso de la IA, sino que a través otras normas ya existentes se regula la IA (ley de protección de datos, de protección del consumidor y de competencia en el mercado).

VI. CONCLUSIÓN

Los MT son de mucha utilidad, sin embargo, tienen muchas limitaciones. Un proceso tumoral puede suponer gravedad, por lo que es necesario asegurarse y contrastar los resultados, por esta razón habitualmente se hacen acompañados de otra pruebas y exámenes del paciente.

Debemos resaltar que los valores elevados de un MT específico no indica necesariamente que exista un proceso tumoral, no obstante, podría proveernos información sobre la posibilidad de su existencia.

La ventaja fundamental de la IA es que permite el acceso al diagnóstico intraoperatorio de tejido estando en la mesa de operaciones, al mismo tiempo disminuye el riesgo de afectar el tejido normal no relacionado con el tumor.

Los algoritmos basados en IA brindan ayuda a los técnicos radiólogos a ser más preciso en sus diagnósticos, obteniendo mas tiempo para dedicarse a la atención al paciente.

REFERENCIAS

- [1] Alshereideh. (1998). *Marcadores tumorales como método de identificación de enfermedad residual o metastásica y de seguimiento y monitorización terapéutica en patología tumoral maligna ginecológica*. Granada. Obtenido de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/14519>

- [2] Baena, J. (1995). *Estudio prospectivo del uso de los marcadores tumorales en el seguimiento, diagnóstico de la recidiva y control terapéutico del cáncer de mama*. Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/handle/11441/79615>
- [3] Bonilla-Sepulveda, O. (2020). Marcadores tumorales en cáncer de mama. Revisión sistemática. *18*(20). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0300-90412020001200006
- [4] Cancer.Net. (2022). *Pruebas de marcadores tumorales*. Obtenido de <https://www.cancer.net/es/desplazarse-por-atenci%C3%B3n-del-c%C3%A1ncer/diagn%C3%B3stico-de-c%C3%A1ncer/pruebas-y-procedimientos/pruebas-de-marcadores-tumorales>
- [5] Casazola, O. (2021). La usabilidad percibida de los chatbots . *Universidad Nacional del Callao, Perú*.
- [6] CongresoRepublica. (2023). *Ley N.º 31814 Protección de IA en el Perú*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/4565760-31814>
- [7] E-Cancer. (2023). *Desarrollan una herramienta de inteligencia artificial para predecir el riesgo de cáncer de pulmón*. Obtenido de <https://ecancer.org/es/news/22569-desarrollan-una-herramienta-de-inteligencia-artificial-para-predecir-el-riesgo-de-cancer-de-pulmon>
- [8] Franganillo, J. (2023). *La inteligencia artificial generativa y su impacto en la creación de contenidos mediáticos*.
- [9] Hermida, I. (2016). Marcadores Tumorales. *Revista Clínica de medicina de familia*, *9*(1). Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2016000100006
- [10] Lamana, I. (2023). Marcadores tumorales. *OCRONOS*, *VI*(1). Obtenido de <https://revistamedica.com/marcadores-tumorales-clasificacion/>
- [11] Leija, L. (2009). *Metodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores*.
- [12] Loayza-Bonilla, A. (2021). LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ONCOLOGÍA: CONTEXTO ACTUAL Y UNA VISIÓN HACIA LA PRÓXIMA DÉCADA. Obtenido de <https://revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/1642/2126>
- [13] Luthy, I. (2022). Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina en diagnóstico y tratamiento del cáncer. *82*(5). Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802022000900798
- [14] MIT. (2022). *El MIT trabaja con Inteligencia Artificial para detectar el cáncer de mama hasta con 5 años de anticipación*. Obtenido de <https://saluddigital.com/es/big-data/el-mit-trabaja-con-inteligencia-artificial-para-detectar-el-cancer-de-mama/>
- [15] Mora, J. (2005). Marcadores tumorales en Oncología disgestiva. *4*(4). Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-gastroenterologia-hepatologia-continuada-8-articulo-marcadores-tumorales-oncologia-digestiva-cuales-70000278>
- [16] Moreno, E. (2015). *Adecuacion de uso de marcadores tumorales para la seguridad del Paciente*. Universidad de Malaga. UNIVERSIDAD DE MÁLAGA. Obtenido de https://www.google.com/search?q=tesis+marcadores+tumorales&client=firefox-b-d&sxsrf=AB5stBieQvtA3hlej1uqVbJFaVArNgOKcg%3A1689396491844&ei=CyWyZMWYm4Xe5OUPhpesqAQ&ved=0ahUKEwiFyp-u9I-AAxUFL7kGHYYLCOUQ4dUDCA4&uact=5&oq=tesis+marcadores+tumorales&gs_l=lp=Egxnnd
- [17] MSP. (2023). Obtenido de <https://medicinaysaludpublica.com/noticias/oncologia-hematologia/sybil-inteligencia-artificial-que-podria-predecir-el-cancer-de-pulmon-hasta-6-anos-antes/20665>
- [18] NIH. (12 de mayo de 2023). *Instituto Nacional del Cancer*. Obtenido de <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/diagnostico-estadificacion/diagnostico/hoja-informativa-marcadores-de-tumores>
- [19] OESIA. (2023). *Inteligencia Artificial Generativa para gestionar documentos clínicos*. Obtenido de <https://grupooesia.com/insight/inteligencia-artificial-generativa-para-gestionar-documentos-clinicos/>
- [20] Olascoaga-Del Angel, K. S. (2022). Uso de la inteligencia artificial en la investigación para el reposicionamiento de fármacos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, *25*: 1-17, 2022. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjA9-7k8v2CAxVgl7kGHf84Av8QFnoECCgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scielo.org.mx%2Fpdf%2Ftip%2Fv25%2F1405-888X-tip-25-e450.pdf&usg=AOvVaw2piG788ZF4EQ6ZcAqBTBTG&opi=89978449>

debería ser: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v25/1405-888X-tip-25-e450.pdf>

- [21] Palacios, B. (2013). *Isomorfismo aproximado para el desarrollo de nuevos modelos QSAR*. Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/10656>
- [22] Poveda, P. (2023). *Conceptos generales y aplicaciones en salud de la inteligencia artificial*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwirqbCe69aCAxWQI5UCHWJzAVcQFnoECDsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.construyendolafh.es%2Farticulo-2-monografia-20.pdf&usg=AOvVaw3X2J4xHcHkQN2PRnBA259P&opi=89978449>
- [23] QuestionPRO. (2023). *Inteligencia Artificial Generativa (GAN): Qué es, ventajas y usos en la investigación de mercados*.
- [24] Ramirez, X. (14 de 07 de 2023). *Uso de la inteligencia artificial para el diagnóstico y tratamiento de tumores cerebrales*. Obtenido de RGT Consultores: <https://rgtconsultores.mx/blog/uso-de-la-inteligencia-artificial-para-el-diagnostico-y-tratamiento-de-tumores-cerebrales>
- [25] Rodriguez, J. (2023). *Inteligencia artificial generativa: Un punto de no retorno en la evolución tecnológica*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/inteligencia-artificial-generativa>
- [26] Salud-Digital. (2023). <https://saluddigital.com/es/big-data/el-mit-trabaja-con-inteligencia-artificial-para-detectar-el-cancer-de-mama/>. Obtenido de <https://saluddigital.com/es/big-data/el-mit-trabaja-con-inteligencia-artificial-para-detectar-el-cancer-de-mama/>

Financiamiento:

Propio, Grupo de Investigación Biomedical IT

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Contribuciones de autoría:

Augusto P. Cortez Vásquez: Revisión de literatura sobre marcadores tumorales, revisión y técnicas de Inteligencia artificial en la detección y diagnóstico del cáncer

Luzmila Pro Concepción: Revisión de literatura sobre Machine learning (ML) y redacción de artículo