

Sistemas de expertos desarrollados en el mundo para la detección, el diagnóstico y el tratamiento del cáncer

Expert systems developed worldwide to detect, diagnose and treat cancer

Leisi Sainz Padrón^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9407-2923>

Laisi Sainz Padrón¹ <https://orcid.org/0000-0002-4538-1201>

Deysi Licourt Otero¹ <https://orcid.org/0000-0002-3809-3607>

Niurka Cabrera Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-9170-5318>

Yasmanis González López² <https://orcid.org/0000-0001-6441-8164>

¹Centro Provincial de Genética Médica. Pinar del Río, Cuba.

²Policlínico Docente “Bartolomé Masó Márquez”. Granma, Cuba.

*Autor para la correspondencia: suchiqutica@infomed.sld.cu

RESUMEN

Dentro de las ramas de la Inteligencia Artificial se encuentran los sistemas de expertos, definidos como sistemas informáticos que simulan el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia para resolver problemas. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar algunos sistemas de expertos desarrollados internacionalmente para la detección, el diagnóstico y el tratamiento del cáncer. Para lograrlo se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica en Internet a través de las bases de datos EBSCO, PubMed y SciELO, priorizando los artículos originales y las revisiones bibliográficas. Los 12 artículos seleccionados corresponden en su mayoría a tesis de Terminación de Grado y a artículos publicados en la Base de Datos SciELO. Los sistemas expuestos en nuestra investigación fueron concebidos a partir de la simulación de casos



prácticos, de los análisis de documentos y de la información obtenida en varias entrevistas presenciales, diseñados en un entorno web para garantizar el acceso en línea de especialistas, estudiantes y de los propios pacientes, en algunos casos con un nivel de acierto que osciló entre el 87 y el 100 %. Además, tienen en común la funcionalidad de establecer la probabilidad de que un paciente padezca o no de cáncer, independientemente de su localización, teniendo en cuenta la presencia de signos o síntomas asociados a la enfermedad, así como la de favorecer la detección de un diagnóstico temprano para la determinación de un tratamiento eficaz.

Palabras clave: Inteligencia artificial; sistemas de expertos; programas informáticos; medicina; cáncer.

ABSTRACT

Expert systems belong in the field of artificial intelligence. They are defined as information systems that simulate the process of learning, memorizing, reasoning, communicating and consequent acting of a human expert in any field of science with the aim of solving problems. The purpose of the study was to characterize the expert systems developed worldwide to detect, diagnose and treat cancer. To achieve such an end, an exhaustive bibliographic review was conducted in the Internet databases EBSCO, PubMed and SciELO, prioritizing original papers and bibliographic reviews. Most of the 12 papers selected are diploma theses and publications from the database SciELO. The systems included in our research were conceived of based on simulation of practical cases, document analysis and information obtained from a number of live interviews designed in an Internet environment to ensure online access by specialists, students and the patients themselves, in some cases with an accuracy level ranging from 87% to 100%. They also exhibit the common functionality of establishing the probability that a patient may or may not suffer from cancer, regardless of their location, bearing in mind the presence of signs or symptoms associated to the disease and fostering detection of an early diagnosis to determine an efficient treatment.

Key words: Artificial intelligence; expert systems; information programs; medicine; cancer.



Recibido: 26/11/2019

Aceptado: 20/04/2020

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina científico-técnica que está orientada al estudio del razonamiento humano y sus diversas formas de comportamiento para intentar reproducir, mediante un modelo lógico, la forma en que los seres humanos identifican estructuras, infieren resultados y responden ante situaciones difíciles.⁽¹⁾

Una de las ramas de la IA son los Sistemas Expertos (SE), definidos como sistemas informáticos, que simulan el proceso de aprendizaje, de memorización, de razonamiento, de comunicación y de acción en consecuencia de un experto humano en cualquier rama de la ciencia para resolver problemas.⁽²⁾

La medicina es un área en donde se requiere de mucho entrenamiento para ser un especialista. Además, cuando existe una amplia diversidad de enfermedades, los síntomas pueden ser confusos si se busca determinar rápidamente un diagnóstico, que puede significar la sobrevivencia o la muerte del paciente.

Lo importante son los recursos que se refieren al conocimiento adquirido, ya sea con la ayuda de un especialista o bien a través del sistema que integra un módulo de aprendizaje, que favorece la construcción de un saber propio.^(3,4,5,6) Estos programas proporcionan la capacidad de trabajar con grandes cantidades de información, que es uno de los grandes problemas que enfrenta el analista humano y que puede afectar negativamente la toma de decisiones. Pueden ser utilizados por personas no especializadas para resolver determinadas situaciones.^(7,8)

Actualmente, en la Genética se están aplicando estos programas a nivel de descubrimiento y pronóstico de un gran número de enfermedades. Los nuevos avances en esta área, impulsados por el diagnóstico preciso y la caracterización de muchas enfermedades genéticas, van a permitir que se afiancen las bases de una medicina personalizada y que se puedan plantear nuevas estrategias terapéuticas.



Hasta este momento se conocen más de 6 000 enfermedades humanas con un marcado componente genético, de las cuales un elevado porcentaje son hereditarias. Esto quiere decir que enfermedades multigénicas y multifactoriales, como el retraso mental, el asma y el cáncer, son las que tienen mayor impacto en la población.⁽⁹⁾

El cáncer es un término genérico que designa un amplio grupo de enfermedades que pueden afectar a cualquier parte del organismo. Se caracteriza por la multiplicación rápida de células anormales que se extienden más allá de sus límites habituales y pueden invadir partes adyacentes del cuerpo o propagarse a otros órganos.^(10,11,12,13,14,15)

A nivel mundial, es una enfermedad que va en aumento y es considerada como una de las principales causas de muerte. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que en el año 2018 la carga del cáncer ascendió a 18 millones de casos nuevos y 9,6 millones de muertes.⁽¹⁶⁾

Puede presentarse como una afección asintomática en sus primeras etapas hasta que se considera avanzado; por eso, los métodos de diagnóstico deben ser cada vez más certeros y capaces de arrojar resultados positivos, aún sin la presencia de síntomas.

Considerando que algunos diagnósticos son invasivos y otros están basados solo en historiales clínicos, se hace inminente contar con herramientas accesibles y de fácil uso que apoyen al médico en el manejo y en la evolución de esta enfermedad, y que sean capaces de apoyar la toma de decisiones y la atención personalizada.⁽¹⁷⁾ Un conocimiento más profundo sobre este tema en los especialistas y en el personal médico vinculado a esta área podría repercutir favorablemente en la atención integral a pacientes con esta afección; de ahí que el presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar algunos sistemas expertos desarrollados internacionalmente para la detección, el diagnóstico y el tratamiento del cáncer.

Métodos

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica en Internet. Para garantizar que la búsqueda fuera específica se seleccionaron como palabras clave: inteligencia artificial, sistemas expertos, programas informáticos, medicina y cáncer, que son descriptores

identificados previamente en el tesoro DeCS, haciendo uso además de sus sinónimos en idioma inglés.

Las bases de datos consultadas fueron EBSCO, PubMed y SciELO. Se priorizaron los artículos originales y las revisiones bibliográficas, todos a texto completo, lo que posibilitó la ejecución de un estudio más profundo de la temática a investigar.

Se escogieron los trabajos que respondían específicamente a la descripción de sistemas expertos ya creados para la identificación, el manejo y el tratamiento del cáncer, independientemente de su localización, el grupo etario o poblacional, y fueron seleccionados 12 documentos correspondientes a tesis de Terminación de Grado y a artículos publicados en la Base de Datos SciELO. También fueron consultadas varias páginas informativas en Internet relacionadas con la enfermedad, entre ellas la de la Organización Mundial de la Salud. La información obtenida responde principalmente a los últimos 5 años de publicación, en los que no se encontraron en nuestro país artículos relacionados con el tema de investigación.

Los sistemas expertos

Surgidos a finales de la década del 60 del siglo XX, los sistemas expertos basados en el conocimiento constituyen una herramienta de uso común en las más diversas disciplinas, entre las que se destaca la Medicina, en la cual se reportan ya cientos de sistemas de este tipo. Esto es normal, tratándose de un área en la que predomina el conocimiento no formal y la experiencia derivada de años de práctica profesional por parte de especialistas calificados.

Un sistema experto es un programa de ordenador que simula las cadenas de razonamiento que recorre un experto para resolver un problema de su dominio, como lo es el caso de un médico en la determinación de un diagnóstico. Para conseguirlo, se dota al sistema de un conjunto de principios o reglas que infieren nuevas evidencias a partir de la información ya conocida. Esta acumulación de conocimientos sobre el caso que se intenta resolver conduce a la solución del problema, o a decidir la forma de completar la

información necesaria para continuar la exploración. De forma similar ocurre cuando se realiza una exploración médica.⁽¹⁷⁾

Entre los tipos más importantes del sistema experto, los basados en reglas y en probabilidad han sido los más estudiados y difundidos. Los sistemas expertos basados en reglas se definen a partir de un conjunto de objetos que representan las variables del modelo considerado, ligadas mediante un conjunto de reglas que representan las relaciones entre las variables.

En cambio, la estructura de los sistemas expertos probabilísticos es más abstracta para la lógica humana. La base del conocimiento de estos sistemas la compone un espacio probabilístico y su motor de inferencia. A través de diversos métodos de cálculo de probabilidades condicionadas se calcula la probabilidad de los sucesos aplicando diversas hipótesis de independencia.⁽¹⁸⁾

Los sistemas expertos están conformados por:⁽¹⁹⁾

- *Base de conocimientos:* Contiene conocimiento modelado extraído del diálogo con un experto.
- *Base de hechos:* Contiene los hechos sobre un problema que se ha descubierto durante el análisis.
- *Motor de inferencia:* Modela el proceso de razonamiento humano.
- *Módulos de justificación:* Explica el razonamiento utilizado por el sistema para llegar a una determinada conclusión.
- *Interfaz de usuario:* Interacción entre el sistema experto y el usuario. Se realiza mediante el lenguaje natural.

Las personas que participan en el desarrollo de un sistema experto desempeñan tres papeles distintos:⁽¹⁸⁾

- *El experto:* Pone sus conocimientos especializados a disposición del sistema experto.
- *El ingeniero de conocimientos:* Plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implementa en la base de conocimientos.

- *El usuario:* Aporta sus deseos y sus ideas para determinar especialmente el escenario en el que debe aplicarse el sistema experto.

Las formas de razonamiento diagnóstico tienen gran similitud con las formas de razonamiento de los sistemas expertos. Estas pueden ser:⁽³⁾

- *Probabilísticas:* Se basan en la frecuencia en que aparecen las enfermedades y consideran como variables el sexo, la edad, el peso, la frecuencia y la probabilidad asociada entre los síntomas y la enfermedad.
- *Causales:* Encuentran relaciones fisiopatológicas y las relacionan con los efectos que causan, que pueden ser datos clínicos o antecedentes, así como el humor del paciente, entre otros.
- *Determinísticos.* Son mucho más directos, ya que la identificación de cada síntoma se asocia con una regla que lleva directamente hacia el diagnóstico. Se puede analizar, por ejemplo, que la presencia de cefaleas, la fiebre, las alteraciones de la conciencia y la rigidez de la nuca pueden significar meningoencefalitis.

Las ventajas que supone el uso de un sistema experto han motivado el enorme crecimiento de este campo. Algunas de estas razones son:⁽²⁰⁾

- *Permanencia:* A diferencia de un experto humano un sistema experto no envejece y, por tanto, no sufre pérdida de facultades con el paso del tiempo.
- *Replicación:* Una vez programado se puede replicar infinidad de veces.
- *Rapidez:* Puede obtener información de una base de datos y realizar cálculos numéricos mucho más rápido que cualquier ser humano.
- *Bajo costo:* A pesar de que el costo inicial puede ser elevado, finalmente es bajo gracias a la capacidad de duplicación.
- *Entornos peligrosos:* Puede trabajar en entornos peligrosos o dañinos para el ser humano.
- *Fiabilidad:* No se ven afectados por condiciones externas (cansancio, presión, estrés, etcétera).

- Consolidación de varios conocimientos.
- Apoyo académico.

Entre los inconvenientes y las desventajas de los sistemas expertos cabe mencionar los altos costos de diseño, ya que su realización requiere personal muy especializado, tiempo prolongado y tecnología compleja; los largos períodos de prueba para demostrar su confiabilidad, sobre todo cuando el sistema maneja grandes volúmenes de información; y el impacto negativo que puede tener el uso inadecuado en la relación médico-paciente, que incluso puede dar lugar a la no aceptación por parte del usuario médico.⁽²¹⁾

Diversas han sido las aplicaciones informáticas desarrolladas en el mundo para contribuir a la detección de diferentes tipos de cánceres. Se trata de sistemas expertos que fusionan la inteligencia artificial con el procesamiento de la información obtenida mediante datos de entrada, para obtener como resultado datos confiables que se asemejan a las opiniones de los expertos. Algunos de estos sistemas son:

1. *SIECAT*.

Sistema experto diseñado para el diagnóstico médico del cáncer de la glándula tiroides, capaz de establecer la probabilidad de un paciente de obtener un diagnóstico positivo a partir de la valoración de su sintomatología, con la incorporación del conocimiento de un experto oncólogo en el modelo. Fue concebido a partir de la simulación de cinco casos prácticos y de la información obtenida en varias entrevistas presenciales. Está basado en la técnica de redes bayesianas y en el modelo de NaiveBayes (NB). Los procesos de entrada y salida identificados son:

- *Diagnóstico de la Entrevista:* En este proceso se ha considerado el ingreso de los síntomas que declara un paciente cuando es entrevistado por el médico, donde las alternativas a elegir son Sí o No.
- *Diagnóstico clínico:* En este proceso el médico ingresa el resultado de los exámenes clínicos realizados por el paciente. Las alternativas a elegir según el síntoma son: presente, ausente, normal y sospechoso.

- *Diagnóstico general:* En este proceso la interface sugiere al médico enviar o no al paciente a cirugía. Para esto utiliza la información ingresada en los procesos anteriores.

El sistema fue implementado utilizando MySQL, Netbean y Wamp5 como gestor de servicio. Puede ser utilizado como una herramienta de consulta y permite que los doctores en medicina, especialistas o no, puedan acceder –en línea– a la información contenida en la aplicación.⁽²²⁾

2. Sistema experto probabilístico para el diagnóstico de adenocarcinoma gástrico:

Sistema que mediante la aplicación del teorema de Bayes permite calcular la probabilidad de que un paciente padezca o no de adenocarcinoma gástrico teniendo en cuenta la presencia de algunos, todos o ningún síntoma relacionado con esta enfermedad.

Para la construcción del *software* se aplicó la metodología de Weiss y Kulikowski, considerando análisis, diseño, implementación y pruebas. Se usó MySQL como gestor de base de datos para procesar y almacenar la información de las historias clínicas de pacientes que han presentado signos asociados a esta enfermedad. Para el cálculo determinístico se utilizó Prolog como lenguaje de programación. Los resultados comprenden la recolección de la información pertinente al diagnóstico mediante el análisis de los documentos. El sistema puede servir a médicos jóvenes para contrastar sus propios diagnósticos con los presentados por la aplicación.⁽²³⁾

3. Sistema experto probabilístico basado en las redes bayesianas para la predicción del cáncer de cuello uterino:

El modelo probabilístico basado en las redes bayesianas es capaz de clasificar, con una tasa de éxito del 96 %, a personas diagnosticadas con cáncer de cuello uterino. Para la construcción del modelo se utilizó el *software* Netica 6.0.5, desarrollado por la empresa Norsys, herramienta poderosa y fácil de utilizar para el trabajo con redes bayesianas, que ofrece una interfaz bastante intuitiva, la cual permite al usuario interactuar con la red bayesiana gráficamente, así como también utilizar algoritmos de aprendizaje ya implementados como el *Counting-Learning*.⁽²⁴⁾

4. *SEDICCU.*

Sistema experto en la web que brinda a los pacientes la posibilidad de realizarse un diagnóstico temprano de cáncer de cuello uterino y así acudir a su médico. La interfaz diseñada podrá ser llenada por el usuario en un tiempo promedio de 4 minutos o por la persona que gestiona la cita.

Se trata de orientar a los usuarios durante el proceso del motivo de consulta, identificación de síntomas presentados y antecedentes (personales, familiares, ginecobstétricos), para dar un diagnóstico temprano de cáncer de cuello uterino, tal como si se tratara de un experto del área. Para el desarrollo del sistema se utilizó EDITplus text editor v2.12, WAMP SERVER V2.0, NavicatforMysql V8.0, PHP y MYSQL.⁽²⁵⁾

5. *Sistema experto para el diagnóstico y el tratamiento de cáncer de cuello uterino.*

Sistema que utiliza el Modelo Buchanan y la lógica difusa para determinar el diagnóstico del cáncer de cuello uterino y, a su vez, establecer un tratamiento específico.

Para su desarrollo se utilizaron variables lingüísticas, con las cuales se diseñaron conjuntos difusos con sus respectivas funciones de pertenencia y se implementaron reglas difusas.

Se confeccionó un prototipo del sistema utilizando el lenguaje PHP, JAVASCRIPT y HTML, el cual cuenta con descripciones de todos los términos médicos que podrían generar dudas en la comprensión del diagnóstico.⁽¹⁾

6. *SEDCP.*

Sistema experto desarrollado como apoyo al diagnóstico y tratamiento del cáncer de próstata en la especialidad de Urología, haciendo uso de la lógica difusa. Cuenta con variables de entrada (síntomas del paciente), una base de hechos que almacena síntomas particulares; una base de conocimientos representada por reglas formalizadas por predicados que contienen el conocimiento del experto humano; un motor de inferencia que obtiene conclusiones y un conjunto de variables de salida (diagnóstico y tratamiento). La simulación del sistema fue realizada a través de un prototipo desarrollado en Visual Basic 6.0 con el cual se hicieron las pruebas y la validación del modelo del sistema.⁽²⁶⁾

7. *DIAGNOSPROST.*

Sistema experto de diagnóstico y tratamiento del cáncer de próstata que utiliza la lógica difusa como su principal herramienta de inferencia. Cuenta con los módulos fuzzificador y defuzzificador para transformar los valores reales en conjuntos difusos mediante funciones de pertenencia; tiene una base de conocimientos en donde se encuentra la base de datos y la base de reglas, que es donde está codificado el conocimiento del especialista. El prototipo del sistema está implementado y evaluado en FuzzyTollbox de Matlab versión 7.0, aplicando el modelo Mamdani. La base de reglas se encuentra implementada en Rule Editor y la base de datos en MembershipFunction Editor FIS.

La herramienta creada brinda un diagnóstico adecuado para el paciente y ayuda a la determinación de un tratamiento eficaz.⁽²⁷⁾

8. *Sistema experto para el diagnóstico del cáncer de próstata.*

Sistema experto diseñado para diagnosticar la posible aparición del cáncer de próstata. Para la construcción de la base de conocimientos del sistema experto y las reglas de inferencia se empleó la metodología de la revisión sistemática de literatura (RSL). La pregunta de investigación considerada fue: ¿cuáles son las principales causas que generan el cáncer de próstata? Se revisaron artículos, artículos de conferencias, libros, publicaciones web especializadas. Las bases de datos empleadas para la búsqueda de información fueron: Scopus, IEEE, Web of Science. En la construcción de las reglas de inferencia se consideraron las siguientes temáticas: edad, antecedentes familiares, raza, hábitos alimenticios e infección con VPH/VEB.⁽²⁸⁾

9. *SEIM.*

El sistema experto para interpretación mamográfica es un sistema cuyo conocimiento es el cáncer de mama, de manera que brinda apoyo a los expertos, semiexpertos y radiólogos generales cuando se trata de interpretar una mamografía y generar un informe final basado en el estándar internacional *Breast Imaging Reporting and Data System* (BIRADS).

Se basa en una serie de formularios en los cuales el usuario debe proporcionar datos específicos sobre hallazgos encontrados en una mamografía, datos que servirán al sistema

para determinar la clasificación BIRADS y, como consecuencia, una serie de recomendaciones hechas para cada clasificación.

El entorno de desarrollo JESS -Java Expert System Shell- permitió aprovechar todas las ventajas de desarrollo de Java Enterprise Edition (J2EE) para la creación de este proyecto, con el que logró la integración de herramientas de programación especializadas para ofrecer al usuario final una interfaz óptima. Además, se utilizó MySQL Server 5 para generar un banco ordenado de datos conformado por los hallazgos mamográficos de los diferentes rubros identificados.

Teniendo en cuenta que el sistema podría ser usado por varias personas ubicadas en diferentes lugares, se concibió como una aplicación Web, constituida por cinco módulos: Identificación de la paciente, Clasificación de los hallazgos, Conclusiones y emisión de recomendaciones, Evaluación axilar y Localización de la lesión.⁽²⁹⁾

10. *Sistema de apoyo para la toma de decisiones en termografía de las glándulas mamarias:*

Sistema experto basado en árboles de decisión binarios con factores de peso heurísticos, orientados al diagnóstico mediante termografía mamaria. Fue implementado en LabVIEW® con 6 menús diferentes para la interfaz humano-máquina (HMI).

La importancia de este sistema radica en el aprovechamiento de los patrones termográficos y su correlación con los factores externos e individuales de cada paciente que acude a la prueba de termografía. Con él se genera una sugerencia de patologías que pudiera padecer el paciente en cuestión, conforme al apego estadístico de la ponderación obtenida al final del examen térmico en su conjunto.⁽³⁰⁾

11. *Sistema predictivo bayesiano para la detección del cáncer de mama.*

Herramienta de gran utilidad para ayudar al diagnóstico temprano del cáncer de mama. La metodología propuesta define y entrena un sistema de clasificación bayesiano, con una base de datos de pacientes con cáncer y sin cáncer; utilizando además un algoritmo de selección y clasificación.

El nivel de acierto del sistema es del 100 % y logra esta efectividad con un mínimo de cinco características.⁽³¹⁾

12. SEAPSCCEL.

Se trata de un sistema experto que permite estimar la supervivencia de un paciente con carcinoma epidermoide de laringe. Integra de forma rápida y eficaz los factores pronósticos y estima la probabilidad de supervivencia a los cinco años.

Ha sido validado correctamente y ha obtenido una coincidencia de la supervivencia estimada con la real del 87 % sobre el conjunto de datos empleado en la construcción del sistema experto.

Para favorecer su uso por múltiples usuarios y su mantenimiento fue diseñado como aplicación web. Su funcionamiento se basa en la selección de imágenes en relación con los rasgos presentes en el paciente y con la valoración realizada por el especialista; su ejecución en modo experto permite ejecutar la inferencia del SE. Se consideraron dos técnicas para su desarrollo: una red neuronal artificial y una máquina de vectores soporte.⁽³²⁾

En resumen, en un SE el proceso diagnóstico puede dividirse en cuatro áreas generales:^(21,22,33)

1. Comunicar al sistema la información acerca del paciente.
2. Comparar dicha información con la de la base de conocimientos.
3. Tomar una decisión diagnóstica.
4. Recomendar un tratamiento según el diagnóstico final.

Los sistemas expertos de apoyo al profesional clínico han demostrado su utilidad como:

- Modelo predictor sobre la supervivencia y la capacidad de recidiva del tumor a distintos tiempos.
- Integrador de la historia oncológica del paciente.
- Desarrollo de algoritmos para el tratamiento de datos.
- Creación de base de datos multimodal de alto valor.

La información que proporcionan ha permitido:

- Personalizar las terapias de acuerdo con las características de cada paciente.
- Evitar el sobretratamiento con fármacos en aquellos pacientes cuyo perfil es de bajo riesgo, e incidir de forma positiva en una mejor calidad de vida: menos exposición a tratamientos innecesarios y la no presencia de efectos secundarios.
- Contribuir a la racionalización del gasto sanitario.

Conclusiones

Los sistemas expertos han demostrado ser herramientas muy útiles en gran cantidad de situaciones, ya que tienen capacidad de aprendizaje, de entender y hacerse entender, de desarrollar hipótesis alternativas, de resolver conflictos y de justificar sus conclusiones. Estos sistemas fueron concebidos a partir de la simulación de casos prácticos, análisis de documentos y de la información obtenida en varias entrevistas presenciales, diseñados en un entorno Web para garantizar el acceso en línea de especialistas, estudiantes y de los propios pacientes, en algunos casos, con un nivel de acierto que oscila entre el 87 y el 100 %. Además, presentan en común las siguientes funcionalidades:

- Establecer la probabilidad de que un paciente padezca o no de cáncer independientemente de su localización, teniendo en cuenta la presencia de signos o síntomas asociados a la enfermedad.
- Favorecer la detección de un diagnóstico temprano para la determinación de un tratamiento eficaz.

Referencias bibliográficas

1. Sánchez Chura TM. Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento de Cáncer de Cuello Uterino basado en lógica difusa. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés; 2015 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/7336>



2. UNAD. Todo Sobre Inteligencia Artificial. Sistemas expertos. Colombia: UNAD; 2013 [acceso: 21/06/2019]. Disponible en:
<http://inteligenciaartificialgrupo33.blogspot.com/p/sistemas-expertos-los-sistemas-expertos.html>
3. Bustillos Salgado M. Sistemas Expertos para la Asistencia Médica. Rev Inform Tecnol Soc. 2008 [acceso: 21/06/2019];(1):[aprox. 4 p.]. Disponible en:
<http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rits/n1/n1a21.pdf>
4. Expósito Gallardo MC, Ávila Ávila R. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas. ACIMED. 2008 [acceso: 24/06/2019];17(5):[aprox. 12 p.]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v17n5/aci05508.pdf>
5. Quisbert Espejo MI. Sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad coronaria (isquemia). Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés; 2013 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7770/T.2710.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Becerra RA. Sistemas Expertos para la realización de diagnóstico de trastornos neuromusculares con electromiografía. Mendoza: Universidad del Aconcagua; 2011 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:
http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/265/tesis-3970-sistemas.pdf
7. Boada Piñeros J, Riaños A, Ruiz Nossa A. Sistemas expertos-sistemas de información gerencial. Bogotá: Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales; 2016 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/drrc954098/home/sis-expertos>
8. Villanueva Villacorta MG. Sistema experto basado en reglas para el control interno y auditoría de los Sistemas Contables Presupuestales y Financieros en el Instituto Superior de Educación Público Jorge Basadre Grohmann, Mollendo-Arequipa, 2017. Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna; 2018 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:
http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3490/171_2018_villanueva_villacorta_mg_espg_maestria_computacion_e_informatica.pdf?sequence=1
9. Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM). Experto Universitario en

Genética Médica y Genómica. España: UCAM; 2019 [acceso: 21/06/2019]. Disponible en: <https://genotipia.com/experto-universitario-en-genetica-medica-y-genomica/>

10. Organización Mundial de la Salud. Cáncer. Ginebra: OMS; 2018 [acceso: 21/06/2019]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/cancer>

11. García Rodríguez ME, Benavides Márquez A, Ramírez Reyes E, Gallego Escobar Y, Toledo Cabarco Y, Chávez Chacón MA. El cáncer del pulmón: algunas consideraciones epidemiológicas, del diagnóstico y el tratamiento. Rev Arch Med Camagüey. 2018 [acceso: 24/06/2019];22(5):[aprox. 22 p.]. Disponible en:

<https://www.medigraphic.com/pdfs/medicocamaguey/amc-2018/amc1851.pdf>

12. Quispe Vivanco RP. La musicoterapia y el nivel de ansiedad de los pacientes oncológicos durante las quimioterapias ambulatorias en el Hospital Sergio E. Bernales, de noviembre 2016 a enero 2017. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2017 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6531/Quispe_vr.pdf?sequence=1&isAllowed=y

13. Martínez Rodríguez S. Cáncer, una mirada desde la depresión [Internet]. Uruguay: Universidad de la República de Uruguay; 2018 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: https://sifp.psico.edu.uy/sites/default/files/Trabajos%20finales/%20Archivos/tfg_final_-_septiembre_3_1.pdf

14. Salazar Abanto CT. Conocimientos para el autocuidado de personas con cáncer con tratamiento de quimioterapia del Hospital II Essalud. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca; 2015 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/983/tesis%20quimioterapia%20final%204.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

15. Díaz Pozo P. Análisis de expresión de factores pro-inflamatorios e inmunológicos en carcinoma de células de Merkel. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2018 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107674/>

16. INFOCáncer. El cáncer en el mundo y México [Internet]. México: INFOCáncer; 2019 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <https://www.infocancer.org.mx/?c=conocer-el-cancer&a=estadisticas-mundiales-y-locales>



17. Cabrera Hernández M, Paderni López MC, Hota Torres R, Delgado Ramos A, Tardío López MA, Derivet Thaureaux D. Aplicaciones médicas como ayuda al diagnóstico en la medicina. Experiencia SOFTEL-MINSAP. RCIM. 2012 [acceso: 24/06/2019];4(2):[aprox. 14 p.]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcim/v4n2/rcim10212.pdf>
18. Carlos Soto M. Sistema Experto de diagnóstico médico del Síndrome de Guillian Barre. Perú: UNMSM; 2008 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/carlos_sm/cap4.pdf
19. Badaró S, Ibáñez LJ, Jorge Agüero M. Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones. Argentina: Universidad de Palermo; 2013 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: https://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/13/CyT_13_24.pdf
20. Grados Leyva DE, Grados Leyva DL. Sistema Experto para el Diagnóstico Médico de Enfermedades (SEDME) [Internet]. Perú: Universidad Nacional de Trujillo; 2014 [acceso: 02/07/2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/234824760/Sistema-Experto-Para-El-Diagnostico-Medico-de-Enfermedades>
21. Fox JE. Sistemas expertos y su aplicación en medicina. IATREIA [Internet]. 1991 [acceso: 24/06/2019];4(3):[aprox. 7 p.] Disponible en: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/iatreia/article/download/3457/3219>
22. Ramírez S, Ponce C, Nolivos I. Sistema Experto para la detección de Cáncer a la Glándula Tiroides-SIECAT [Internet]. Ecuador: ESPOL; 2012 [acceso: 02/07/2019]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/24539/>
23. Gutiérrez J, Castillo Diestra C, Acosta Aparicio D. Sistema Experto Probabilístico basado en Redes Bayesianas para la predicción del cáncer de cuello uterino. Conocimiento para el Desarrollo. 2016 [acceso: 24/06/2019];7(1):[aprox. 10 p.]. Disponible en: <https://revista.usanpedro.edu.pe/index.php/CPD/article/view/54>
24. Paulino Flores LA, Huayna Dueñas AM. Sistema Experto Probabilístico basado en Redes Bayesianas para la predicción del cáncer de cuello uterino. Rev Per Comp Sist. 2019 [acceso: 24/06/2019];2(1):[aprox. 12 p.]. Disponible en:

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpcsis/article/view/16360/14138>

25. Barturen Sánchez LY. Desarrollo de un Sistema Experto sobre Web para un diagnóstico temprano de Cáncer de Cuello Uterino en la Clínica Maternidad “Belén”- Chiclayo [Internet]. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; 2012 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/519>

26. Yujra Chalco MA. Sistema Experto para el Diagnóstico de Cáncer de Próstata con lógica difusa [Internet]. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés; 2017 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12544>

27. Chambi Cahuapaza JE. Sistema Experto de Diagnóstico y Tratamiento del Cáncer de Próstata. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés; 2007 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/466/T-1467.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

28. Gil Vera VD, Montoya Suárez LM. Sistema experto para el diagnóstico del Cáncer de Próstata. Medellín: Universidad Católica Luis Amigó; 2017 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/328314455_Sistema_experto_para_el_diagnostico_del_Cancer_de_Prostata

29. Vázquez Padilla Díaz A. Sistema Experto para la Interpretación Mamográfica. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2010 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/920>

30. Bastida MB, Cabello ME, Rodríguez AL, García J. Sistema de apoyo para la toma de decisiones en termografía de glándulas mamarias. Rev Mex Ing Bioméd. 2017 [acceso: 24/06/2019];38(1):[aprox. 22 p.]. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322017000100166

31. Castrillón OD, Castaño E, Castillo LF. Sistema predictivo bayesiano para la detección del cáncer de mama. Inftecnol. 2017 [acceso: 24/06/2019];29(3):[aprox. 14 p.] Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n3/0718-0764-infotec-29-03-00257.pdf>



32. Mata Ferrón M. Sistema experto de ayuda a la predicción de la supervivencia de los carcinomas epidermoides de laringe [Internet]. Granada: Universidad de Granada; 2012 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/21907>
33. López de Mántaras R, Meseguer P. ¿Puede un robot diagnosticar una enfermedad mejor que un médico? España: CSIC; 2018 [acceso: 24/06/2019]. Disponible en: <https://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/tag/sistemas-expertos/>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Laisi Saínez Padrón: Revisión bibliográfica, procesamiento estadístico, redacción del documento, revisión y corrección del manuscrito, revisión y aprobación final del manuscrito.

Deysi Licourt Otero, Niurka Cabrera Rodríguez y Dayana Silverio Ortega: Procesamiento estadístico, redacción del documento, revisión y corrección del manuscrito, revisión y aprobación final del manuscrito.

Yasmanis González López: Procesamiento estadístico, redacción del documento, revisión y corrección del manuscrito, revisión y aprobación final del manuscrito.

Niurka Cabrera Rodríguez: Procesamiento estadístico, redacción del documento, revisión y corrección del manuscrito, revisión y aprobación final del manuscrito.