

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



Sistema experto de apoyo al diagnóstico temprano de dolor neuropático

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

AUTOR

Victor Fabrizio Mundaca Sanchez

ASESOR

William Alfredo Noblecilla Vincés

<https://orcid.org/0000-0003-0283-9080>

Chiclayo, 2022

**Sistema experto de apoyo al diagnóstico temprano de dolor
neuropático**

PRESENTADA POR

Victor Fabrizio Mundaca Sanchez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

APROBADA POR

María Ysabel Arangurí García
PRESIDENTE

Marlon Eugenio Vélchez Rivas
SECRETARIO

William Alfredo Noblecilla Vincés
VOCAL

Dedicatoria

A Dios, por guiar mi camino espiritual e intelectual, por ser mi roca en buenos y malos momentos.

A mis padres, por haberme formado en la persona que soy y por todo el apoyo incondicional en todo aspecto a lo largo de mi vida.

Agradecimientos

A Dios, por darme la sabiduría, la verdad y por brindarme a todas las excelentes personas que enriquecen mi vida.

A mis padres, por estar siempre ayudándome en todo lo que me propongo, por su infinito amor.

A mis hermanos y familia, por brindarme cada palabra de aliento y motivación a lo largo de mi carrera.

A mis amigos, por brindarme su apoyo a lo largo de la carrera y de estos últimos difíciles pero aleccionadores años.

A mi asesor de tesis, el Ing. William Noblecilla, por darme toda su confianza y apoyo para sacar adelante esta investigación. Muchas gracias.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Revisión de literatura	8
Materiales y métodos	16
Resultados y discusión	18
Conclusiones	37
Recomendaciones.....	37
Referencias	38
Anexos.....	42

Resumen

En los últimos años ha existido una fuerte prevalencia de una condición médica que muchas personas pasan por alto, el dolor neuropático. Existen muchos indicadores de la falta de atención y poca precisión de los diagnósticos relacionados a esta enfermedad. Muchas personas sufren esta condición médica, aparte de otras enfermedades que pueden ser las causantes o que conviven con ella, lo cual repercute en su capacidad laboral, recreativa y de realización personal. Incluso, la sensibilización sobre esta enfermedad es nula por lo que tampoco existen estudios ligados a nivel local sobre esta condición. Por ello, se propuso el desarrollo de un sistema experto que apoye de manera temprana al diagnóstico de dolor neuropático en un espacio clínico de Chiclayo siendo este una propuesta de ayuda adicional para los diagnósticos que conlleven a esta enfermedad. El cometido se desarrolló haciendo uso de la metodología Commonkads. De esta manera, se llegó a cumplir con los objetivos de diseñar una base de conocimiento sobre el dolor neuropático haciendo uso de lógica difusa compuesta por un criterio de reglas lógicas, también un sistema inteligente basado en aplicación web que esté apoyado en dicha base y que se detalla ampliamente dentro de esta investigación. Con el sistema, se obtuvo una clasificación de hasta 7 tipos de dolor neuropático según la sintomatología ingresada por las personas y recomendaciones generales según la temporalidad de sus síntomas; además, se contó con la validación del experto humano médico neurólogo, objetivo que también se propuso.

Palabras clave: Sistema experto, dolor neuropático, lógica difusa, metodología Commonkads, aplicación web.

Abstract

In recent years there has been a strong prevalence of a medical condition that many people overlook, neuropathic pain. There are many indicators of inattention and low precision of diagnoses related to this disease. Many people suffer from this medical condition, apart from other diseases that may be the cause or that coexist with it, which affects their work, recreational and personal fulfillment capacity. Furthermore, awareness of this disease is nil, so there are no locally linked studies on this condition. For this reason, the development of an expert system that supports early diagnosis of neuropathic pain in a clinical space of Chiclayo was proposed, this being a proposal of additional help for diagnoses that lead to this disease. The task was developed using the Commonkads methodology. In this way, the objectives of designing a knowledge base on neuropathic pain were met by making use of fuzzy logic composed of a criterion of logical rules, also an intelligent system based on a web application that is supported on said base and that it is extensively detailed within this investigation. With the system, a classification of up to 7 types of neuropathic pain was obtained according to the symptoms entered by the people and general recommendations according to the temporality of their symptoms; In addition, it counted on the validation of the human expert neurologist, an objective that was also proposed.

Keywords: Expert system, neuropathic pain, fuzzy logic, Commonkads methodology, web application.

Introducción

Hoy en día, estamos rodeados de vasta tecnología que mejora ciertos aspectos de nuestra vida para hacerlos más rápidos y eficientes. La capacidad de las máquinas ya no se limita a aspectos mecánicos sino, a términos de ser capaces de imitar de forma básica un razonamiento humano. Por consiguiente, resulta apropiado poder usar estas capacidades en la realización de sistemas que apoyen en medicina respecto problemas específicos como el dolor neuropático, tema que juega un papel poco visto pero que afecta las vidas de muchas personas. En estos tiempos, el dolor neuropático (DN) como característica de un dolor crónico tiene una alta prevalencia en adultos alrededor del mundo. En Europa 7% a 8% del 20% de la población que sufre dolor crónico presenta dolor neuropático equivalente a 50 millones de personas [1]. La incidencia global muestra que solo el 40% de personas logra determinar y aliviar su cuadro de dolor [2]. Por consiguiente, este dolor no diagnosticado o tratado correctamente repercute en el bienestar emocional, calidad de vida, entorno familiar y social. A pesar, que el dolor es una de las causantes principales para ir a un médico sigue siendo menospreciada. Se debe tomar, ahora, como una condición crónica y derivada de tratamientos fallidos [3].

La persona con dolor neuropático está asociada a una peor salud debido a las implicancias en torno a su estilo de vida diario, tanto como depresión o enfermedad coronaria [1]. Así mismo, dicho dolor se presenta bajo condiciones médicas preexistentes definidas tales como diabetes, lumbalgias, posoperaciones, etc. [4]. Sin un diagnóstico propicio y una terapia definida poco se podría hacer por el paciente. A nivel latinoamericano, en México, pocos datos se tienen, pero al igual que Europa 7% a 8% de mexicanos padecen dolor neuropático [5]. En Colombia, por medio de una encuesta, se determinó que 50% de la muestra presentó dolor crónico de los cuales 64.5% visitaron a un médico mientras que el restante se automedicó sin saber su verdadero mal [6]. En Brasil, se estima que el 5% de la población general padece de dolor neuropático y sigue en aumento [7].

En Perú, no se tienen datos certeros sobre personas convalecientes o que estén pasando por un cuadro de dolor neuropático. No obstante, podemos referirnos a las enfermedades mencionadas líneas arriba como determinante para dolor neuropático. La diabetes mellitus es una enfermedad que más desarrolla dolor neuropático. Un estudio realizado en el hospital naval arrojó que 52,58% de la muestra presenta dicha dolencia junto a la diabetes [8]. Así en [9] nos dice que el paciente oncológico también puede llegar a evidenciar dolor neuropático. De igual manera, las lumbalgias son una enfermedad común relacionada con dolor neuropático y se debería tratar adecuadamente [10].

En el ámbito local, no se registra información abierta sobre dolor neuropático, su prevalencia o incidencia. Así pues, el tema en investigación toma más relevancia intentando generar una base de conocimiento que ayude a personas con este padecimiento tanto como a los expertos de la salud a través de estadísticas. En el lugar de implantación del sistema se observó que al haber un solo experto doctor el tiempo entre consultas se puede extender por varios minutos. Se atendieron pacientes con diagnóstico previo o sin él, generando información disgregada sobre el conocimiento en cuestión. Se vio oportuno que haya una base de datos centralizada con datos del paciente a tratar de manera previa y así agilizar el diagnóstico y dar una terapia oportuna y rápida.

De este modo, la investigación tiene como interrogante general: ¿Cómo apoyar en el diagnóstico temprano de dolor neuropático? Es así, que la presente investigación se plantea con el objeto de desarrollar una solución apoyada en sistema experto para que mediante algoritmos de lógica difusa basados en conocimiento nos brinden un diagnóstico a lo que dolor neuropático concierne. De la misma forma, se plantearon objetivos específicos resultantes de la investigación como: clasificar los tipos de dolor neuropático, diseñar la base de conocimiento de dolor neuropático, diseñar el sistema experto y evaluar con el experto humano la eficacia del sistema en mención.

Teniendo en cuenta lo anterior, la investigación se justifica en la elaboración de una nueva base de conocimiento relacionado a dolor neuropático sentando bases para estudios o software más especializado en la temática. No solo el sistema de implementación sino los datos obtenidos servirán para mejorar aspectos de la salud y/o investigaciones posteriores. Luego, se puede justificar también por el precedente social que podría llegar a instaurarse mediante los diagnósticos de apoyo de manera digital en miras de reducir la brecha de auto consulta y automedicación por no ir al médico de forma oportuna. Se realizó una investigación del tipo aplicada con un grupo control. Se planteó el desarrollo de una aplicación web para la puesta en marcha y todo usando la metodología Commonkads.

Revisión de literatura

Recopilando información que sirva de sustento para respaldar la presente investigación encontramos una gama de autores que trabajaron de manera similar con algunas variables de estudio, así como metodología y eje de la temática. Tenemos a Yujra [11], narra la problemática de su investigación basado en el padecimiento de cáncer de próstata. El autor se planteó un sistema experto para apoyar el diagnóstico de cáncer de próstata con lógica difusa. Indicó que desconocen los factores de aparición de este cáncer, aunque ciertos factores como signos o

síntomas ayudan a detectarlo. Por consiguiente, el sistema experto juega el rol principal de inferencia del posible diagnóstico con ayuda de los datos de diagnóstico recopilados del experto humano. Se aplicó la metodología científica básica asociado a un desarrollo ágil, logrando obtener la solución de una aplicación de escritorio para exponer para la problemática en cuanto un diagnóstico certero de cáncer de próstata. En resumen, podemos hacer una analogía con esta investigación respecto a la implementación de un sistema experto y cuan bien puede servir en el apoyo de diagnósticos médicos dado que, finalmente el autor concluyó que existe la confianza de obtener los mismos veredictos médicos al comparar sus casos diseñados con los del experto médico. Se tomó en consideración esta tesis ya que evidencia la ayuda que puede significar el recrear una base de conocimiento en el ámbito de la salud respecto nuevo conocimiento, datos y/o estadísticas para futuras investigaciones.

Aliaga [12], nos expone en su estudio la gran prevalencia de la enfermedad de Parkinson y cómo por diversos factores las personas no van al médico por síntomas que se les presentan y que pueden ser factores de riesgo para padecer Parkinson. El uso de un sistema experto es pieza clave en esta investigación ya que se usará la inferencia de un motor de inteligencia artificial para replicar el conocimiento del experto de la salud. Se hizo uso de la metodología Buchanan y la programación SWI-PROLOG para dicho cometido. Se culminó el estudio con un producto a la medida concluyendo con una validación buena del diagnóstico. Esta tesis presenta relación ya que hace uso de la lógica difusa como principal método para dar forma y construir la base de conocimiento que se aplicará en la solución de escritorio. Así mismo, da un vistazo de la integración que se podría llegar a tener con las historias clínicas tanto físicas como virtuales.

Novillo y Del Pezo [13], hablan que, el tratado llevado a cabo busca realizar un diagnóstico de enfermedades bucales como las caries. El contexto abarca una problemática de prevención y de focalizar datos odontológicos para facilitar la labor del especialista. Un sistema experto se ve provechoso para el fin del estudio dado que mediante preguntas e información de exámenes ambulatorios que la misma persona puede hacer se llevan al sistema. El sistema mediante sus reglas automatiza el tratamiento. Se utilizó la metodología Buchanan dado que fue la más idónea por presentar pasos definidos en la elaboración del sistema experto. Se llegó a realizar una buena base de datos de reglas mediante la ayuda del experto humano. Se pudo sacar el aporte de haber realizado preguntas de anamnesis y de ahondamiento médico que resulta muy provechoso para guiar el conocimiento y la forma de construcción del sistema experto.

En un espacio nacional se encontró que, Solsol [14], en la tesis trata de brindar una solución frente a los problemas de estrés que se puede vivir en un contexto académico. Los jóvenes pueden ser socavados por factores estresores, por más mínimo que sea. Esta condición puede

generar actitudes deficientes en rendimiento académico. Un sistema experto entra a tallar para dictaminar qué nivel de estrés puede tener la persona. Los datos o estadísticas resultantes pueden llevar a plantear estrategias de mejora para los estudiantes del centro académico estudiado. Fue un tipo de investigación aplicada. Los datos fueron recogidos mediante encuestas a los expertos. Los resultados fueron positivos y dieron información para formular un plan frente al estrés. Los aportes para la presente tesis fueron el uso de la metodología Commonkads como una solución más eficiente en la implementación de sistemas expertos.

Carita [15], en su investigación toma como centro de atención la Paraparesia Espástica. En Perú, según la investigación, hay más de 100,000 infectados por el retrovirus HTLV (Human T-lymphotropic virus 1) causante de paraparesia. Esta enfermedad es una mielopatía y los casos son irregulares. Dado tal, la información respecto a un buen diagnóstico a veces es escasa y el especialista no puede acertar del todo. La consecuencia es una mala calidad de vida para el paciente. Es por ello, que un sistema experto es propuesto para generar un base del conocimiento sobre esta rara enfermedad. Según los síntomas e indicadores el sistema brinda un porcentaje indicando probabilidad de padecer la enfermedad. La metodología usada en la investigación fue Commonkads. El aporte al presente estudio es la integración de la base de conocimiento a herramientas de desarrollo más actuales como lo son las aplicaciones web y soluciones basadas en web.

Villanueva y Taboada [16], expusieron el apoyar en un hospital el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas. Toma la probabilidad dentro de un sistema experto para elaborar las inferencias. Se alienta a que, gracias a esta solución, se dé sostén a las decisiones de las enfermeras o médicos al momento de tatar al paciente. Se hace uso de la metodología Commonkads y de redes bayesianas. Como resultado, el sistema experto arrojó una eficacia del 85%. Los tiempos de atención se vieron reducidos. El aporte a la investigación presente viene dado de la demostración de la eficiencia de la metodología Commonkads visto en estudios anteriores y de cómo es realizable la reducción de tiempos usando sistemas inteligentes en áreas de la salud permitiendo mejores consultas.

A nivel local, Dávila [17], planteó el deseo de la problemática de disminuir el riesgo de padecimiento de diabetes en jóvenes. Mediante un sistema experto que genere conciencia de la enfermedad se plantea trabajar la causa general del estudio. Se usó la metodología Buchanan para tal cometido llegando a obtener buenos resultados. El aporte a la presente investigación es el respaldo que da en la utilización de lógica difusa en la implementación de sistemas expertos para diagnósticos de enfermedades y/o niveles de riesgo.

Bobadilla [18], en su investigación plantea solucionar el problema de demoras de diagnósticos para pacientes que presentan síntomas diabéticos. El uso de un sistema experto arrojará diagnósticos certeros y validados por un médico experto. Se logrará tener menores tiempos para tratamiento y bajos costes en otros ámbitos. La metodología usada fue Buchanan. El aporte a este estudio es el respaldo de la bibliografía respecto la prevención de la salud mediante sistemas expertos de apoyo.

En adición, es necesario resaltar las definiciones y demás información para establecer el panorama teórico de la investigación para poder comprender los rubros mencionados y usados dentro de la misma.

1. Dolor neuropático

El dolor neuropático (DN) se define como el resultado de alguna lesión o enfermedad nerviosa que afecta el sistema nervioso central o periférico [1]. Debe tratarse de manera diferente a un dolor normal en términos de síntomas y mecanismos que toma el cuerpo a una lesión nerviosa [3]. Se puede presentar como una condición médica a debido a una enfermedad preexistente como: diabetes, cáncer, origen viral, traumatismos [19]. De los tipos de dolor es el que más causa discapacidad [2] dado que tiende a hacerse crónico limitando las capacidades de las personas. En su etiología, el dolor neuropático no debe abordarse en cuestiones dicotómicas al momento de diagnosticarlo, debe considerarse como un espectro [7]. Las causas comunes de dolor neuropático siendo las más renuentes son diabetes, cáncer y traumatismos.

La sintomatología, dependerá de algunos factores fisiopatológicos, ambientales o personales, pero podemos separarlo en 2 grupos de síntomas: Síntomas negativos, indican del daño causado en el sistema nervioso. Pérdida de sensibilidad debido a trastornos de conducción o transmisión nerviosa tales como: hipoalgesia, hipoestesia, termohipoalgesia, etc. Síntomas positivos: son las respuestas mismas al daño de nervio. Los cuales pueden ser: síntomas espontáneos, dolor urente, disestesias (sensaciones anormales) y parestesias (hormigueos); y síntomas evocados, alodinia (respuesta dolorosa a algo no doloroso), hiperalgesia (dolor exagerado) e hiperpatía (respuesta desfasada y dolorosa a un estímulo) [20]. El dolor neuropático se genera por alteraciones de conducción nerviosa donde las neuronas ven afectadas sus propiedades eléctricas. Se ven identificados estos trastornos en el ganglio de la raíz dorsal, asta posterior de la medula espinal y en la corteza somatosensorial. La relación entre enfermedad y reacción es muy diversa por lo que se deben considerar las más relevantes al momento de diagnosticarla [2].

En el momento de hacer el diagnóstico, se debe diferenciar entre un diagnóstico posible, probable y definitivo. Se considera posible cuando el paciente muestra historia clínica de lesión

o enfermedad nerviosa; además, el dolor es concordante al registro. Debe considerarse probable si el paciente muestra todo lo anterior y si un examen neurológico muestra síntomas positivos o negativos en la zona afectada. Se considerará definitivo mediante un examen neurofisiológico o una prueba por imágenes. En resumidas cuentas, debe tenerse una historia clínica previa, un examen neurológico de descarte y una zona muy focalizada para dar un veredicto de valor.

Por otro lado [21] nos proporciona un algoritmo para comenzar con el diagnóstico, así mismo, estudios complementarios para obtener un mejor veredicto. Paso 1, anamnesis general; paso 2, exploración neurológica; paso 3, un probable diagnóstico topográfico; paso 4, diagnóstico etiológico; paso 5, diagnóstico confirmado. Respecto a tratamiento, existen dos tipos de acuerdo al diagnóstico del paciente y a su localización (central o periférico): farmacológico, existen 3 líneas de tratamiento respecto a fármacos [22]: Antidepresivos tricíclicos, Opioides y Antiepilépticos; fisioterapéutico, en este tratamiento [23] implica una serie de exámenes adicionales mediante la palpación y examinación de los tejidos blandos, espasmos, cambios biomecánicos, etc. Se debe diferenciar un dolor nociceptivo de uno neuropático para proceder con el tratamiento, intensidad y frecuencia. Se encuentran: estimulación eléctrica nerviosa subcutánea (TENS), masaje, ejercicio terapéutico, movilización neural, tracción.

2. Metodología Commonkads

Hena [24] , nos menciona que es una metodología para la elaboración de sistemas que tienen como base el conocimiento. Desarrollada en cooperación con varios países europeos. Al tener buenos resultados en su ejecución se propone como metodología completa que integra desde el análisis de la organización hasta el diseño de software. Como todo proceso de software Commonkads se basa en un proceso en espiral donde cada sección otorga un producto al culminarse fuera cual fuese. Las etapas son: análisis, diseño, implantación, instalación.

La metodología presenta 5 modelos o etapas en su desarrollo, permiten dar una abstracción de la organización implementando niveles donde cada nivel es independiente. Permite conocer el contexto de una manera ordenada [25].

Modelo de la organización: hace descripción de la organización en estudio, sus procesos, problemas y oportunidades. Este modelo presenta una guía de fichas para analizar a la organización: OM-1: identificar problemas y oportunidades de la organización, OM-2: aspectos de la organización que serán impactados por la solución de conocimiento, OM-3: procesos, OM-4: activos de conocimiento, OM-5: viabilidad.

Modelo de tareas: se hace un detalle de los quehaceres que son realizados dentro de la organización: TM-1: descripción de las tareas en los procesos, TM-2: descripción de los conocimientos implicados dentro de una tarea.

Modelo de agentes: persona, software o entidad que cumpla una tarea dentro de la organización: AM-1: descripción de(l)(los) agentes en la organización.

Modelo de conocimientos: aquí se modela el conocimiento usado en la solución del problema, tipos y estructuras: KM-1: el conocimiento del dominio, es decir todo lo concerniente al tema a abordar, KM-2: esquema de dominio, se refiere a un conjunto de pasos para armar el conocimiento en base a un árbol de decisiones, KM-3: es la base del conocimiento.

Modelo de comunicaciones: descripción del viaje de información entre los que competen en la ejecución de las tareas: CM-1: información transmitida de agente a agente.

Modelo de diseño: se describe el diseño técnico y de software respecto al sistema basado en conocimiento: DM-1: arquitectura del sistema, DM-2: descripción de la implementación.

3. Sistema experto

Es un sistema informático programado que es capaz de imitar las decisiones de una persona. En específico, este tipo de sistemas trata de emular la inteligencia de un experto humano cual fuera su especialidad. Viene a formar parte de la inteligencia artificial (IA). Un sistema experto está basado en el conocimiento humano llegando a dar razonamientos parecidos. Los datos de conocimiento son ingresados a una unidad de cómputo que a través de métodos específicos propios de un S.E emiten resultados para tomar decisiones o estrategias frente a un determinado contexto en estudio. Los sistemas expertos como tal no llegan a reemplazar a la persona, pero si sirven de apoyo al especialista, de igual manera al no experto a la hora de tomar un juicio de valor [26].

Tiene como características lo siguiente: inferencia deductiva, los datos obtenidos del sistema experto pueden servir como nueva fuente de conocimiento para sí mismo; constante crecimiento: nuevas reglas pueden ingresarse o modificar las nuevas sin problema alguno; carácter declarativo: el sistema experto lo forman ciertas reglas que no son correlativas unas de otras y que solo interactúan mediante el proceso de inferencia; dar explicaciones relativas: las conclusiones a las que llega el sistema experto deben ser fáciles de entender y sobre todo ser naturales al ojo del experto humano. Esto permitirá, corregir y validar el sistema; los datos manipulados con simbólicos: a diferencia de sistemas transaccionales numéricos en los S.E se infieren premisas; colección de conocimientos: el S.E sirve como base de datos unificada donde la opinión de cada experto cuenta formando un sistema más grande; se usan métodos empíricos:

el S.E se basa en recolectar el conocimiento a automatizar y mostrar resultados. Ensayo y error que el experto y el ingeniero del conocimiento van a ir afinando.

Existen tipos que en [27] podemos destacar los más importantes: interpretación, mediante la recepción de datos externos como temperatura o señales se da una inferencia de lo que puede estar sucediendo; predicción, el sistema arroja escenarios futuros resultantes de información otorgada; diagnóstico, se llega a dictaminar el defecto de un sistema dadas ciertas características anormales del mismo o a través de una base de conocimiento previo; diseño, configuran objetos mediante ciertas reglas. Ofrecen un diseño allegado al ideal para probar los conceptos; monitoreo, los datos ingresados al sistema son cotejados respecto a un modelo y se espera que se tome acción si lo obtenido al modelo es diferente; control, el sistema experto toma dominio de la situación dada la interpretación de los datos.

La estructura de un sistema experto consta principalmente de 3 módulos: Base de conocimiento, es el contenedor de las reglas del conocimiento necesarias para que el SE tenga la capacidad de dar conclusiones ante una problemática específica; base de hechos, es un espacio de memoria dentro del sistema que almacena datos de la situación que se está resolviendo o datos iniciales de la situación a estudiar; motor de inferencia, es el “actor” principal del S.E. Aquí es donde se formarán los razonamientos en base a las reglas siguiendo un esquema acorde a las inferencias. Se identifica la información necesaria y se concatena hasta llegar al resultado. Los lenguajes para programar sistemas expertos más comunes, pero no limitados a estos son: Prolog, lenguaje de programación lógica para sistemas experto. Se basa en reglas las cuales derivan de hechos asociados a objetos y sus relaciones [26], la resolución de una determinada inferencia lo hace a través de dichas relaciones y no mediante código; Clips, significa sistema de producción integrada de lenguaje C. su desarrollo se concibió en la NASA. Es un lenguaje de encadenamiento hacia adelante y con paradigma orientado a objetos siendo uno de los más utilizados para diversas aplicaciones.

4. Lógica difusa

Es una metodología o técnica para realizar evaluaciones de situaciones o pronósticos matemáticos (basados en software también) con información ruidosa o imprecisa con múltiples asignaciones para una variable usualmente evaluadas dentro de un conjunto [28]. Los primeros conceptos de esta técnica fueron hechos por Zadeh; luego, Mandani aplica estos sobre sistemas de control y procesos; después, son usados por Takagi y Sugeno para el mismo fin, pero con diferentes métodos. La lógica difusa se usa en numerosos procesos entre ellos la medicina, electrónica e informática [29].

En palabras de [30], un sistema de lógica difusa o borrosa toma variables cuantitativas, en su mayoría, y las trata como variables lingüísticas a través de funciones para luego realizar un proceso de condiciones si – entonces (inferencia Mandani). Al tener estas condicionales, se realiza un proceso de inferencia matemática con dichas reglas para luego tener un resultado final similar al razonamiento humano al tomar decisiones.

5. Aplicación web

Una aplicación web es un programa codificado para la internet el cual pueda ser ejecutado por los navegadores web, red local o intranet. Cada día la implantación de este tipo de software es más común dado que son programados para necesidades específicas, pero sobre todo que no requieren instalación en el lado del cliente. La codificación, bases de datos y demás se encuentran almacenadas en servidores locales o servidores alquilados en la nube. Los lenguajes mayormente usados para codificar estas aplicaciones web son [31]: HTML o lenguaje de marcado, da estructura y secuencia a las páginas web; PHP o preprocesador de hipertexto, es un lenguaje especial multipropósito de programación web que puede ser embebido dentro de HTML (lenguaje estándar de programación web) [32]; JavaScript, es un lenguaje de programación que permite actualización dinámica [33]; CSS, es un lenguaje de demarcación de estilos, como color o tipografía.

6. Base de datos

Actualmente en [34], es una herramienta de software que recopila, relaciona y organiza datos para una búsqueda rápida con ayuda de un computador. A su vez, también sirven para analizar datos y hacer predicciones mediante motores de búsqueda complejos. Por lo general, una base de datos no se crea por si sola, sino que existe un programa manejador llamado sistema gestor de base de datos (SGBD) que modela la base de datos según el experto requiera. Una base de datos va ligada a otro programa aplicación que conectado agrega o consume recursos.

Existen diferentes tipos de acuerdo a su estructura o su forma de consulta: relacionales, donde los datos son almacenados en tablas y relacionadas mediante indicadores únicos que son usados como dato referencia; distribuidas, donde las consultas o las tablas relacionadas no se encuentran en un solo servidor, sino que los datos son almacenados en diferentes partes, pero siempre interconectadas unas de otras; NoSQL, son bases de datos que responden a otros tipos de programación para almacenar datos u otro tipo de estructuras; orientada a objetos, al igual que en la programación orientada a objetos, las tablas, obedecen a una jerarquía o una herencia.

Materiales y métodos

El presente estudio, de acuerdo a Hernández [35], tiene como tipo de investigación (tecnológica) aplicada ya que las conclusiones y discusiones se guían respecto a la aplicación web que soporta el proceso de diagnóstico para intentar resolver con ello la problemática en cuestión.

En relación a lo mencionado por Salkind [36], se utilizó el diseño de contrastación de hipótesis de tipo cuasiexperimental donde se manipula la variable independiente (sistema computacional) con un solo grupo control para establecer el consecuente efecto. El diagrama es el siguiente:

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_1$$

Donde:

O₁ = Es el grupo seleccionado para realizar las pruebas de aplicación del software y observar su comportamiento previo.

X = Es la aplicación del software.

O₁₍₂₎ = Es el mismo grupo previo, solo que con ellos se miden los efectos generados por la propuesta para intentar resolver la interrogante general de la investigación.

1. Población, muestra y muestreo

En cuanto a la población, considerando los aspectos mencionados y las limitaciones del entorno de aplicación de la investigación se tomó en cuenta una población de 200 pacientes.

Debido al contexto del lugar de aplicación y para una buena aprehensión de los datos se consideró una muestra de 50 personas.

El muestreo aplicado para esta investigación fue no probabilístico de tipo intencional acorde a lo mencionado en [37].

2. Métodos de investigación

Los métodos de investigación planteados son los siguientes:

TABLA I
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Método	Descripción
Analítico	Estudio y análisis del problema que presenta el lugar de aplicación de la investigación.
Deductivo	Plan para el abordaje de la propuesta de solución al problema expuesto.
Descriptivo	Estudio y exposición de las acciones y procesos ejecutados en el lugar de estudio.
Correlacional	Observar y analizar las relaciones causa y efecto de las variables respecto la problemática.
Experimental	Se creó la base de reglas que forman el sistema experto
Implementación y revisión	El desarrollo y ejecución de la propuesta de solución de solución.

3. Técnicas e instrumentos de recolección

Las técnicas e instrumentos usados se muestran a continuación:

TABLA II
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas	Instrumentos	Elementos de la población	Propósito
Entrevista	Guía de entrevista (Ver Anexo 1)	Doctor y secretaria	Obtener información de la ejecución de un diagnóstico y sobre los procesos que están involucrados.
Revisión de la literatura	Índice de navegación	Documentos	Analizar y exponer la información como sustento argumentativo al presente trabajo.
Juicio de experto	Ficha de cotejo (Ver Anexo 1)	Doctor	Verificar la validez del resultado del software acorde al experto humano

4. Consideraciones éticas

Dado que, la presente investigación recopiló tanto datos personales como médicos de las personas, se tomó en acuerdo regirse por la normativa de gestión de datos regulados por la Ley No 297133 de protección de datos personales del Perú. De esta manera, se garantizó la confidencialidad y la no divulgación de datos usados para la investigación. También, para asegurar el bienestar y comodidad de los miembros con el tratamiento de sus datos se puso en consideración: anonimato en la aplicación de encuestas y entrevistas; garantía en el resguardo de la información registrada en el sistema que pueda ser sensible; protección de contraseñas y datos médicos registrados.

Resultados y discusión

1. En base a la metodología

1.1. Iteración #1: modelo de negocio

Commonkads comprende iteraciones agrupadas en formatos o tablas organizadas de manera de recopilación de datos sobre los componentes involucrados en el conocimiento. La primera iteración de la metodología usada en la presente investigación corresponde al modelo de la organización. Los formularios usados (OM – 1 a OM – 5) sirven para presentar la información y contexto del lugar de estudio de la investigación. Cada formulario presenta pautas específicas acorde a la organización y las circunstancias que presenta. El formulario OM – 1, Identificar problemas y oportunidades respecto al conocimiento; el formulario OM – 2, Aspectos del entorno que serán impactados por el sistema experto; el formulario OM – 3, Procesos; el formulario OM – 4, Activos del conocimiento y el formulario OM – 5, Viabilidad. Los más relevantes se muestran a continuación:

TABLA III
FORMULARIO OM – 1

OM – 1: Identificar problemas y oportunidades respecto al conocimiento	
Problemas	<ul style="list-style-type: none"> - No hay programas que administren o almacenen la información. - Hay un solo experto encargado de la atención de todos los pacientes. - Demoras en diagnósticos por paciente. - Diagnóstico poco acertado por falta de información del paciente o falta de resultados de análisis. - Falta de recursos tecnológicos.
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar el volumen de pacientes atendidos para ayudarlos a tener mejor calidad de vida - Optimizar la atención del paciente en consulta médica. - Dar un diagnóstico temprano de dolor neuropático para mejorar la calidad de vida de la persona.
Soluciones	<ul style="list-style-type: none"> - Un sistema experto de apoyo al diagnóstico temprano de dolor neuropático basado en reglas. - Un subsistema de gestión de pacientes.

TABLA IV
FORMULARIO OM – 2

OM – 2: Aspectos del entorno que serán impactados por el sistema experto

Estructura	Existe una estructura simple donde el médico especialista está en la cima y una secretaria es su miembro de apoyo.
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de citas. - Atención de la consulta. - Registro de historias clínicas.
Personas	<ul style="list-style-type: none"> - Médico neurólogo. - Secretaria. - Paciente.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> - Celulares para comunicación con pacientes. - Historias clínicas en folios. - Aparatos médicos.
Conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento del médico neurólogo. - Protocolo de atención al paciente. - Protocolo de diagnóstico de DN. - Conocimiento de la sintomatología. - Conocimiento de exámenes ambulatorios auxiliares. - Conocimiento para sanar o controlar el dolor neuropático. - Conocimiento de los análisis clínicos a realizarse. - Conocimiento para registrar pacientes. - Conocimiento para hacer una historia clínica.
Poder y cultura	Es propio del área del consultorio llegar a la consulta previa cita por llamada telefónica. El experto recopilará la información de sus pacientes y procederá con el protocolo correspondiente a cada persona. Los datos médicos se registrarán en la historia clínica.

TABLA V
FORMULARIO OM – 3
OM – 3: Procesos

Número	Tarea	Agente	Lugar	Conocimiento	Importancia
1.1	Obtener datos de los signos y síntomas del paciente	-Médico -Paciente	Consultorio	-Protocolo de atención paciente -Protocolo de diagnóstico de dolor neuropático	de Muy alta al
1.2	Realizar exámen ambulatorio auxiliar	-Médico -Paciente	Consultorio	-Conocimiento de exámen ambulatorio auxiliar	Alta de
1.3	Otorgar diagnóstico médico	-Médico -Paciente	Consultorio	Protocolo diagnóstico de dolor neuropático	de Muy alta de

1.2. Iteración #2: modelo de tareas

En esta fase de la metodología se desglosan pautas, llamadas tareas, involucradas en cada proceso seleccionado que son parte del diagnóstico médico. Así, cada tarea puede ser componente de uno o más procesos dentro de las acciones realizadas en el lugar de la presente investigación. De esta manera se conoce cómo la información es tratada y manejada. Así mismo, en el formulario TM – 2 se analiza por medio de preguntas dicotómicas ciertas características de los procesos y sus tareas involucradas.

En el formulario TM – 1, usados para describir las 3 principales tareas, se describen la información usada, las personas involucradas y el conocimiento usado junto con otros ítems de control para delimitar lo más posible el alcance de la información. Se detalla la tarea de obtener datos de los signos y síntomas del paciente, realizar examen ambulatorio auxiliar y otorgar diagnóstico médico. Se muestra un formulario de la primera tarea.

TABLA VI
FORMULARIO TM – 1

TM – 1: Análisis de las tareas	
Tarea	1.1 Obtener datos de los signos y síntomas del paciente.
Lugar	Consultorio
Objetivos y valores	Obtener información de las dolencias que describe el paciente.
Objetos manejados	<ul style="list-style-type: none"> - Entrada: información de los síntomas descritos por el paciente. - Salida: diagnóstico final o posible examen auxiliar
Temporalidad y control	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: uno por cada paciente - Duración: 25 – 30 minutos - Pre – condición: historia clínica previa o nueva llenada previamente. - Post – condición: que toda la información quede almacenada en la historia clínica.
Agentes	<ul style="list-style-type: none"> - Médico - Paciente
Conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento del médico neurólogo - Protocolo de diagnóstico de DN - Conocimiento de la sintomatología - Conocimiento de exámenes ambulatorios auxiliares - Conocimiento para sanar o controlar el dolor neuropático - Conocimiento de los análisis clínicos a realizarse
Recursos	Historia clínica, oxímetro de pulso, estetoscopio.

En el formulario TM – 2, se analiza el tratamiento de los procesos que engloban a las tareas por medio de preguntas dicotómicas para observar si los ítems se cumplen o si existen cuellos de botella. Aquellos procesos fueron: proceso de procedimiento del médico para realizar la anamnesis dentro del diagnóstico, procedimiento para llegar a dar con el diagnóstico de dolor neuropático, procedimiento para reconocer los síntomas del paciente, procedimiento de análisis para indicar las mejores vías de tratamiento

1.3. Iteración #3: modelo de agentes

En esta fase se procedió a describir a los agentes o personas involucradas en el diagnóstico y el conocimiento que fue usado. Al ser un proceso corto ya que cada diagnóstico es único por persona y cada veredicto medico corresponde al punto de vista de un solo doctor solo estos 2 agentes se describen en los procesos evaluados.

En el formulario AM – 1, se describen las relaciones e interacciones de los agentes que en este caso será el medico neurólogo y el paciente. El conocimiento que posee se describe, así como otras acciones que realice tales como responsabilidades o acciones a realizar. Se muestra el formulario AM – 1 del médico:

TABLA VII
FORMULARIO AM – 1

Modelo de agentes	Agente
Nombre	Médico
Organización	Consultorio
Presente en	1.1 Obtener datos de los signos y síntomas del paciente 1.2 Realizar exámen ambulatorio auxiliar 1.3. Otorgar diagnóstico médico
Se comunica con	- Secretaria - Paciente
Conocimiento	- Conocimiento del médico neurólogo - Protocolo de diagnóstico de DN - Conocimiento de la sintomatología - Conocimiento de exámenes ambulatorios auxiliares - Conocimiento para sanar o controlar el dolor neuropático - Conocimiento de los análisis clínicos a realizarse
Otras competencias	- Exámenes ambulatorios
Responsabilidades	- Entrevistarse con el paciente - Procedimientos de obtención de datos de síntomas - Procedimientos de diagnóstico

1.4. Iteración #4: modelo de conocimiento

En esta fase se desarrolla toda la parte de elaboración de la base de datos para el sistema experto como producto de una consumación de datos ofrecidos por las iteraciones anteriores. Como sistema experto es importante organizar los niveles de la información y como estas deben

KM – 2:

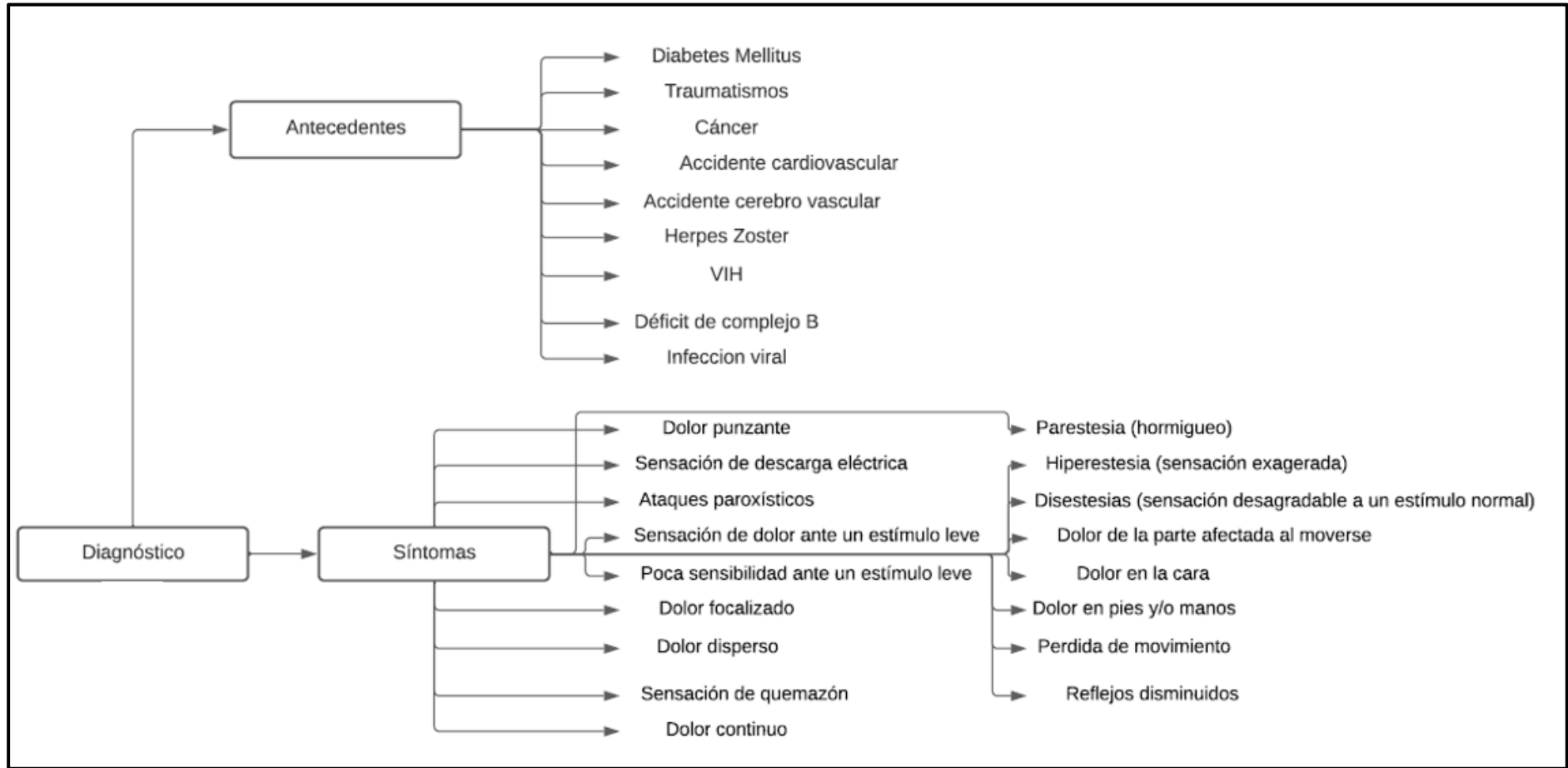


Figura 2: Esquema del dominio

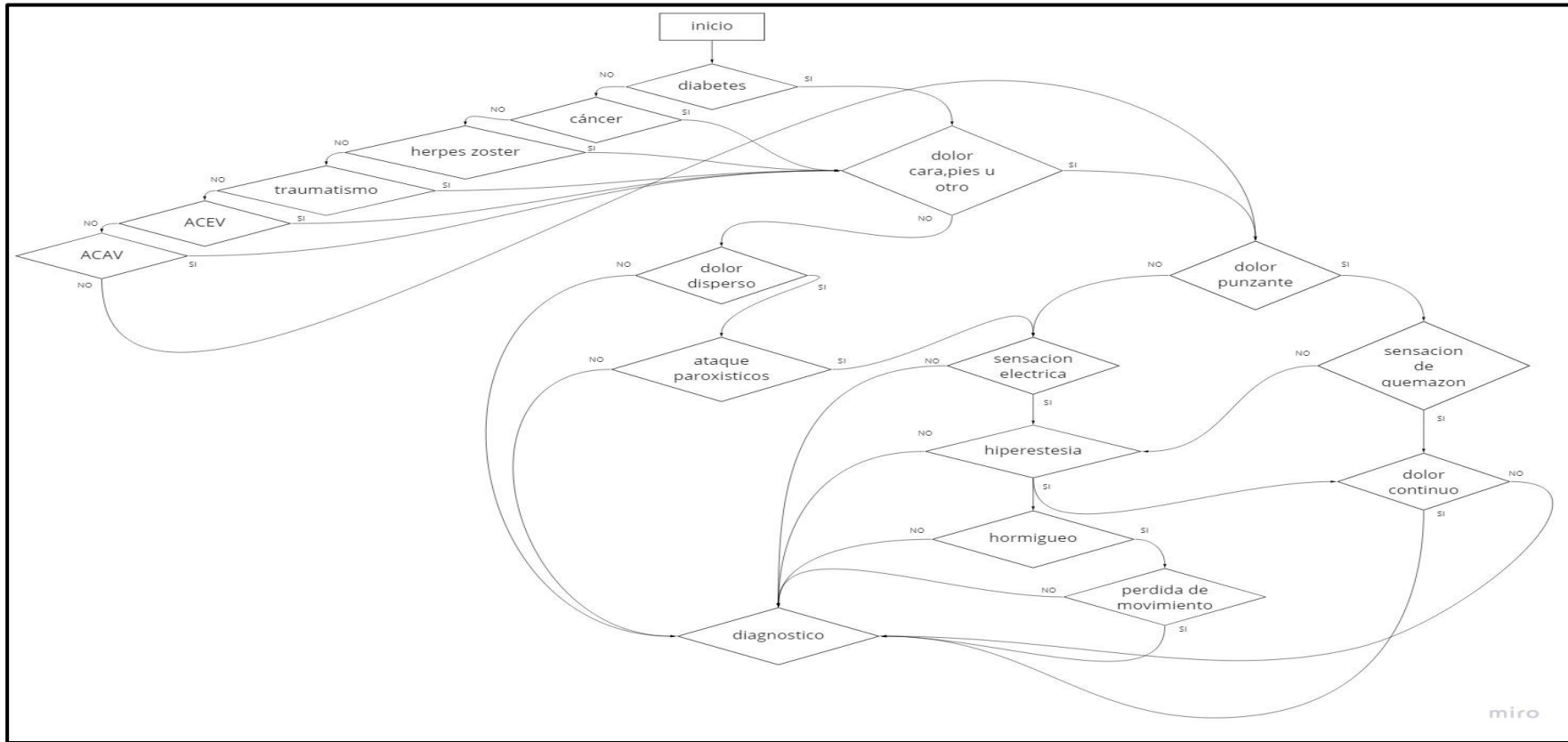


Figura 3: Diagrama de flujo de diagnóstico

KM – 3: Base del conocimiento

Se plantea la arquitectura del sistema experto basado en la inferencia difusa y sus partes de cohesión. Los antecedentes y síntomas mostrados en la figura fueron los más idóneos para llevar a cabo el diagnóstico según el experto humano.

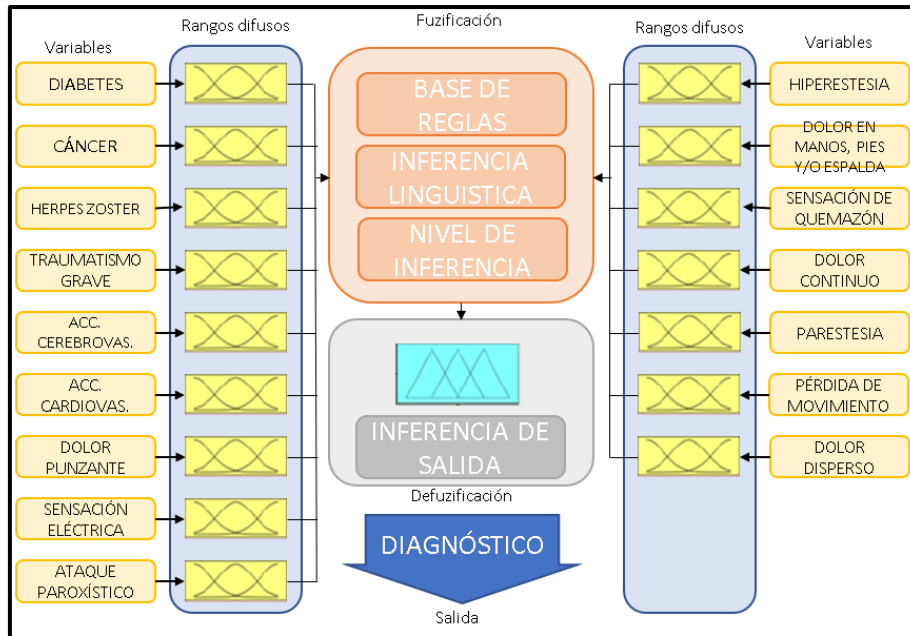


Figura 4: arquitectura del sistema experto

En este apartado, se empieza a desglosar el conocimiento del diagnóstico en partes significativas que tienen más sentido al momento de llevar lo recopilado a la elaboración del producto acreditable. Variables y valores que adquieran acorde a lo tratado con el experto humano servirá para crear el aspecto final de la herramienta informática. Las tablas a continuación muestran el detalle.

TABLA VIII
ANTECEDENTES MÉDICOS

Abreviatura	Antecedentes	valores		Valores difusos
Dia	Diabetes	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]
Can	Cáncer	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]
Her	Herpes zoster	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]
Trau	Traumatismo Grave (fracturas graves o golpes)	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]
Acev	Accidente cerebrovascular	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]
Acav	Accidente cardiovascular	-	Si	- [2,4,3]
		-	No	- [-1,2.5,-0.1,2]
		-	Tuve	- [3.5,6.5,4,6]

TABLA IX
SÍNTOMAS

Abreviatura	Síntomas	Valores	Valores difusos
Pun	Dolor punzante	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Elec	Sensación de descarga eléctrica	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Parox	Ataques paroxísticos (espasmo)	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Hiper	Hiperestesia (sensación exagerada)	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Dpmc	Dolor en pies, manos y/o espalda	- Pies	- [2,6,4]
		- Espalda	- [5,9,7]
		- Manos	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Ddis	Dolor disperso	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Quema	Sensación de quemazón	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Dcon	Dolor continuo	- Días	- [2,6,4]
		- Meses	- [5,9,7]
		- Años	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Pares	Parestesia (hormigueo)	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]
Pmov	Pérdida de movimiento	- Leve	- [2,6,4]
		- Moderado	- [5,9,7]
		- Alto	- [8,13,9,12]
		- No	- [-1,3,-0.1,2]

Este aspecto de la iteración muestra la conjunción del aprendizaje recabado anteriormente con la implementación de reglas lógicas (si - entonces) para posteriormente ser usadas con lógica difusa.

1.5. Iteración #5: modelo de comunicación

En esta fase se plasma como viaja la información que ingresa el usuario en el sistema y viceversa. Se describen los involucrados y una descripción del funcionamiento del sistema.

TABLA X
FORMULARIO CM – 1

Modelo de comunicación	Descripción
Nombre	Solicita diagnóstico
Información	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes - Síntomas
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> - Usuario - Sistema experto
Restricciones	El usuario debe estar registrado previamente en el sistema antes de iniciar el diagnóstico.
Descripción del intercambio de información	Se realiza el intercambio en el sistema experto con el paciente que ingresa sus síntomas. Se mostrarán preguntas sobre las características de su dolor y el paciente deberá responder acorde a la realidad. Luego, el sistema le mostrara su posible diagnóstico

1.6. Iteración #6: modelo de diseño

En la última iteración se presentan las herramientas usadas en la puesta en marcha del producto acreditable, así como las interfaces del sistema que interactuaran con el doctor. Se optó por el lenguaje web PHP, así como JavaScript y los demás lenguajes que acompañan a una solución web actual. Para una optimización del código se usó una librería de código abierto de lógica difusa.

TABLA XI
FORMULARIO DM – 1

Ítem	Descripción
Modelo de control	El paciente (usuario) ingresa al sistema con sus credenciales. Ingresa sus antecedentes y síntomas para que el sistema los procese y emita el diagnóstico.
Subsistemas	Gestión de datos del paciente

TABLA XII
FORMULARIO DM – 2

Ítem	Descripción
Software	NetBeans Clase Fuzzy Logic PgAdmin XAMPP
Hardware	Laptop Servidor local
Lenguaje de programación	PHP SQL JavaScript
Conocimiento	Base de hechos

Para la realización de las interfaces, se consideró una usabilidad que se rija por el principio de la estética minimalista con elementos claros y organizados para percibir un entorno agradable a la vista. Se muestran las 3 principales:

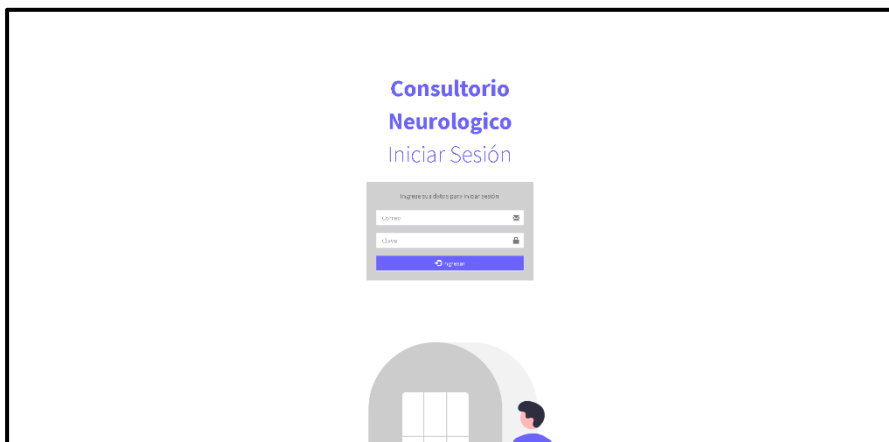


Figura 5: Página de inicio de sesión

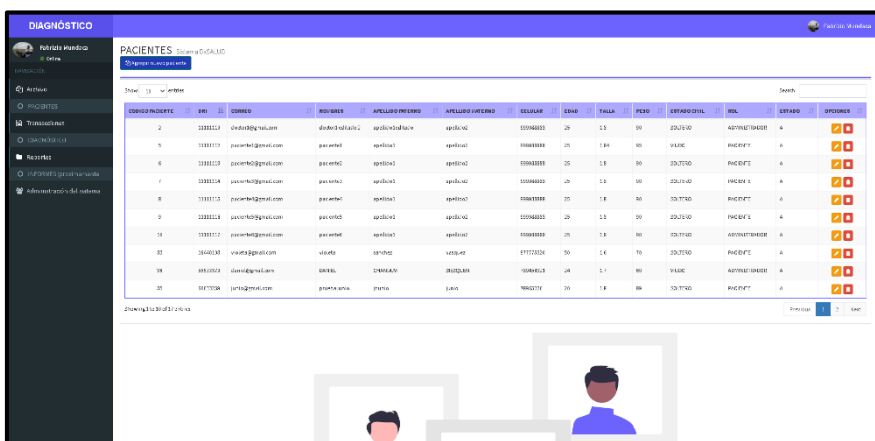


Figura 6: Página de gestión de pacientes

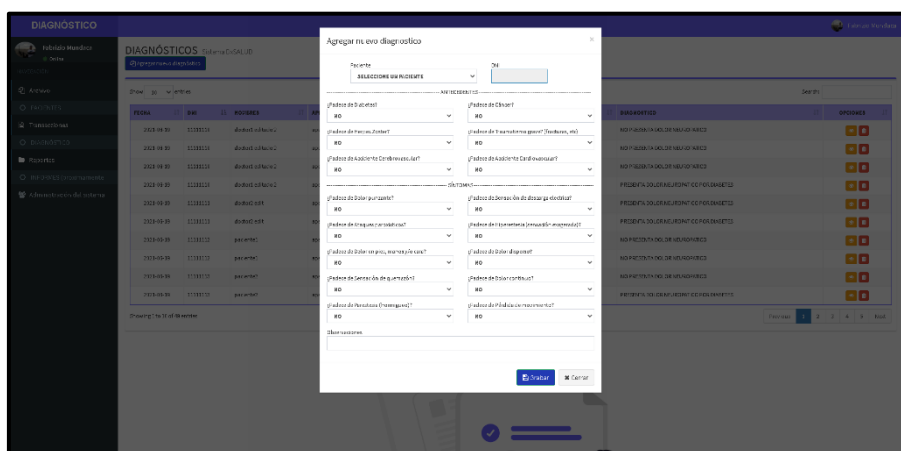


Figura 7: Ventana modal de agregar diagnóstico

2. En base a los objetivos

2.1. Clasificar los tipos de dolor neuropático para una adecuada interpretación asegurando exactitud

En grandes rasgos el dolor neuropático era tratado como una condición general con tratamiento no específico de acuerdo a las dolencias de cada persona, no obstante delimitar el área o conocer las condiciones adyacentes al dolor hacen que el experto medico pueda dar un diagnóstico más certero para que posteriormente el tratamiento resulte eficaz produciendo el alivio esperado por el paciente tratado. El sistema desarrollado cumple con el objetivo ya que muestra, acorde a los síntomas ingresados, la presencia de la condición en la persona además del tipo o enfermedad precedente.

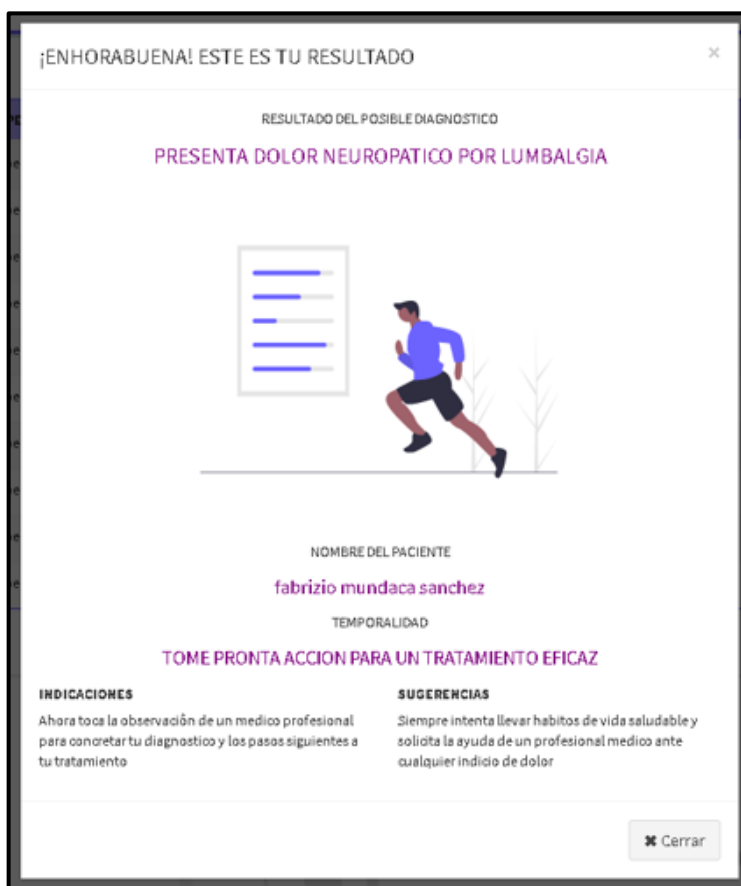


Figura 8: Resultado del diagnostico

En adición, se muestra dentro del informe general las 7 clasificaciones más adecuadas que se escogieron para diferenciar los tipos de dolor neuropático.

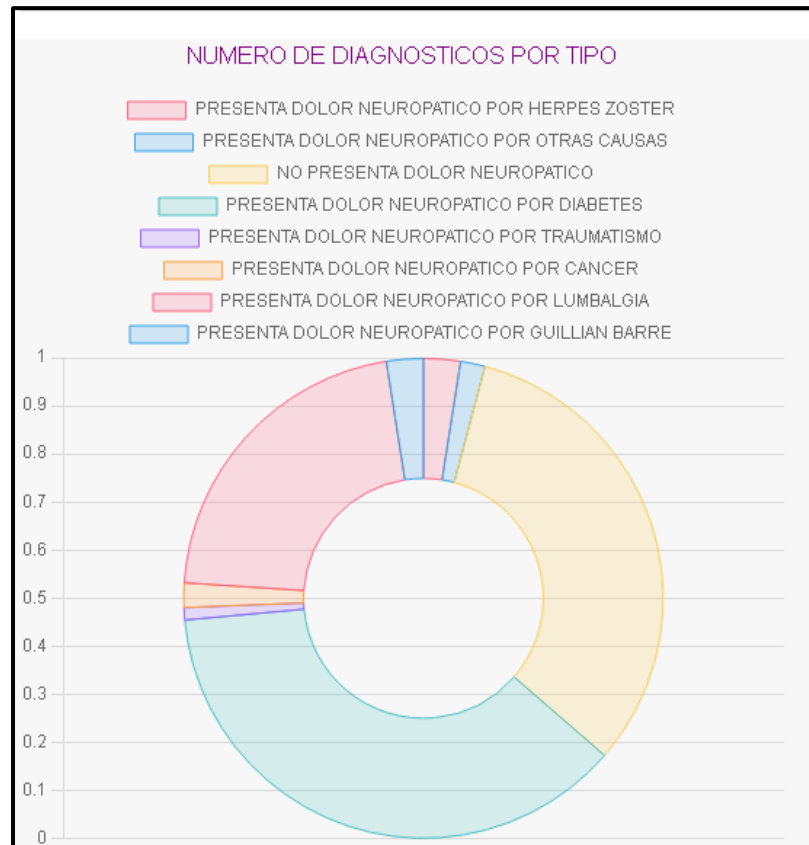


Figura 9: Diagrama circular de clasificación de D.N

2.2. Diseñar una base de conocimiento sobre dolor neuropático

Expuesto en los antecedentes se constató que no existía un estudio previo relacionado a dolor neuropático y mucho menos una base de conocimiento para sacar provecho en investigaciones futuras. Por eso, esta investigación realizó la base de conocimiento con lógica difusa para ayudar a expandir este campo de la ingeniería de sistemas en promoción de la salud. Por tanto, el cumplimiento de este objetivo se detalla en la sección de Iteración #4: Modelo de conocimiento. Luego, al haber implementado la base de conocimientos y de estructurar la base de reglas que es el algoritmo del sistema, se puede demostrar su funcionamiento en general.

```
//con diabetes
$regla1 = new ReglaInferencia(1, array(array(1, 'diabetes', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'moderado'), array(1, 'sensacion_electrica', 'moderado'), array(1, 'hiperestesia', 'moderado')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla1);
$regla2 = new ReglaInferencia(2, array(array(1, 'diabetes', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'alto'), array(1, 'sensacion_electrica', 'alto'), array(1, 'hiperestesia', 'alto')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla2);
$regla3 = new ReglaInferencia(3, array(array(1, 'diabetes', 'no_control'), array(1, 'dolor_punzante', 'moderado'), array(1, 'sensacion_electrica', 'moderado'), array(1, 'hiperestesia', 'moderado')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla3);
$regla4 = new ReglaInferencia(4, array(array(1, 'diabetes', 'no_control'), array(1, 'dolor_punzante', 'alto'), array(1, 'sensacion_electrica', 'alto'), array(1, 'hiperestesia', 'alto')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla4);

//con cancer
$regla5 = new ReglaInferencia(5, array(array(1, 'cancer', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'moderado'), array(1, 'sensacion_electrica', 'moderado'), array(1, 'hiperestesia', 'moderado')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla5);
$regla6 = new ReglaInferencia(6, array(array(1, 'cancer', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'alto'), array(1, 'sensacion_electrica', 'alto'), array(1, 'hiperestesia', 'alto')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla6);

//con trauma
$regla7 = new ReglaInferencia(7, array(array(1, 'traumatismo', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'moderado'), array(1, 'sensacion_electrica', 'moderado'), array(1, 'ataque_paroxistico', 'moderado')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla7);
$regla8 = new ReglaInferencia(8, array(array(1, 'traumatismo', 'si'), array(1, 'dolor_punzante', 'alto'), array(1, 'sensacion_electrica', 'alto'), array(1, 'ataque_paroxistico', 'alto')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla8);
$regla9 = new ReglaInferencia(9, array(array(1, 'traumatismo', 'tuve'), array(1, 'dolor_punzante', 'moderado'), array(1, 'sensacion_electrica', 'moderado'), array(1, 'ataque_paroxistico', 'moderado')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla9);
$regla10 = new ReglaInferencia(10, array(array(1, 'traumatismo', 'tuve'), array(1, 'dolor_punzante', 'alto'), array(1, 'sensacion_electrica', 'alto'), array(1, 'ataque_paroxistico', 'alto')), array(1, 'dolor_neuropatico', 'si'));
$BaseConocimiento->add_regla($regla10);
```

Figura 10: Reglas(parciales) del sistema experto

2.3. Diseñar el sistema inteligente, basado en la propuesta de optimización y mejora del diagnóstico de dolor neuropático

A lo largo de los resultados de la metodología se fue diseñando la solución enfocada en el aporte de la ingeniería de sistema a la salud mediante un sistema experto con lógica difusa. Notables fueron los tiempos de respuesta en un diagnóstico que permitieron, o bien reducir tiempos entre consultas o bien ganar tiempo para otros temas abordados dentro de la misma consulta. En detalle se cumple este objetivo en la sección de iteración #6: Modelo de diseño. El producto acreditable cuenta con la información necesaria para el lugar de investigación, sin embargo, puede ser utilizado como base para un estudio aun mayor dado la flexibilidad de la plantilla y el estilo de programación.

Las interfaces desarrolladas son simples y evitan la distracción que pueda llevar a incurrir en pérdidas de tiempo al encontrar la información necesaria dentro de los procesos del diagnóstico o del mismo establecimiento en general. Así mismo, al estar todo registrado en la base de datos se hace posible tener toda la data en orden para tener información respecto a controles o predicciones futuras como muestra la página de informe general en la figura 11.



Figura 11: Vista de la página de informe general

2.4. Evaluar la eficacia del sistema experto de acuerdo al nivel del experto humano

Esta investigación al tratar un tema externo a la ingeniería se estuvo verificando con el experto médico en aspectos de bibliografía y términos. Así mismo, se planteó la examinación del producto posterior para darle validez y contrastar el funcionamiento con lo que puede hacer también el experto humano médico. La ficha de validación se muestra en el Anexo No 01: Ficha de cotejo aplicada al experto humano

En cuanto a la discusión, la presente investigación buscó unir desde el punto de vista tecnológico a la problemática que hoy en día se vive sobre la condición del dolor neuropático.

El enfoque de la automatización del diagnóstico en este contexto intentó dar una propuesta de solución a la condición neuropática en su aspecto social y médico, por otro lado, ofrecer también una propuesta de apoyo a los profesionales de la salud en el mencionado ámbito. Como lo mencionado en [11] y [12] sobre la falta de prevención y detección de síntomas sencillos sobre una enfermedad o condición médica, también esta investigación lo reafirma. Existe aún mucha prevalencia de enfermedades mencionadas en [12], [15], [17] y [18] que en gran medida llegan a desencadenar dolor neuropático. Entonces se puede evidenciar que la salud aún es dejada de lado por diversos factores pero que a la larga y gracias a una inclusión positiva de la tecnología en el rubro médico se puede llegar a romper este paradigma de la salud que muchas personas tienen.

Como “experto”, un sistema ha de haber abstraído varios puntos los cuales se pueden desglosar dentro de una metodología flexible que permita formalizar y conceptualizar la información. En ese sentido, en la presente investigación se usó Commonkads la cual comparte con [14], [15] y [16] ya que permite un conocimiento más ordenado por etapas y gracias a sus formularios, tener una mejor visión de la situación en estudio. En contra parte, la metodología Buchanan usada por los otros autores, es equiparable en métodos, pero algo dispersa al formular la base de conocimiento para un sistema experto.

Como producto, se optó por una solución web que en nuestros días es común fácil de acceder tanto en dispositivos móviles como en computadoras portátiles siendo una buena opción al tratar de unificar sistemas basados en la nube o integración con diversas herramientas ya disponibles en internet. [11], [12], [13] optaron por una solución de escritorio que a estas alturas deberían ser actualizadas a un entorno web para una mayor socialización de lo que sus sistemas pueden hacer. En [14], [15] se optó por una solución web lo cual resulta beneficioso como modelos a seguir en futuras investigaciones como la presente que implementa un aplicativo web.

Los resultados coinciden con la mayoría de autores y con más detalle en [15] al tratarse de una condición casi similar al dolor neuropático pero que de igual manera anteriormente no fue objeto de estudio o mención dentro de investigaciones nacionales. Los resultados fueron coincidentes y casi concluyentes al usar sistemas expertos en la formulación de un diagnóstico médico.

Conclusiones

Con la utilización de la aplicación desarrollada se pudo contribuir a una segmentación más adecuada al clasificar los tipos de dolor neuropático que presentan los pacientes del establecimiento de la investigación. Al ingresar la sintomatología para el diagnóstico, ahora ya no solo muestra la presencia del dolor, sino que, además, con qué precedente o con qué enfermedad en específico la tiene.

Con la elaboración del sistema experto se analizó y estudio la información relacionada a la condición de dolor neuropático, que jamás antes fue estudiada en la región, para condensarla en una base de conocimiento formalizada que puede ser usada en sistemas computacionales. Teniendo un precedente a este tema hace más fácil el abordaje para estudios a futuro.

Usando tecnologías actuales y accesibles a la era del internet se logró concretar el sistema inteligente basado en tecnología web considerando criterios de usabilidad. Además, al ser una solución informática, aspectos como el almacenamiento de datos fueron mejorados.

Como sistema de apoyo la aplicación cumple su función al constatarse con un experto humano del campo. Sus resultados no llegan a ser perfectos, pero se acercan bastante para brindar el apoyo a la línea de soporte en el área.

Recomendaciones

Para trabajos posteriores sería importante interconectar otros subsistemas de diagnóstico o de apoyo estratégico al paciente para así tener una herramienta muy beneficiosa en el sector salud.

Evaluar y analizar otro tipo de reglas para llegar a un resultado más óptimo dentro del diagnóstico o para incrementar aún más el nivel de precisión.

En investigaciones a futuro se recomienda mantener en actualización el tipo de tecnología del producto acreditable según los entornos donde se trabaje para asegurar la no obsolescencia temprana.

Se recomienda ahondar más sobre el dolor neuropático, su prevalencia y todos los factores involucrados dado que dan pie a sistemas informáticos de trabajo en salud que ayudarían en gran medida la coyuntura nacional.

Referencias

Lista de las fuentes consultadas:

- [1] International Association for the Study of Pain, «Epidemiología del dolor neuropático: ¿qué frecuencia e impacto tiene el dolor neuropático?,» International Association for the Study of Pain, Washington, 2015. Disponible en: <https://bit.ly/3hXqXmX>.
- [2] A. Lara-Solares y et al, «Consenso multidisciplinario de diagnóstico y tratamiento del dolor neuropático periférico y localizado en México,» *Gaceta Médica de México*, vol. 1, n° 1. Disponible en: <https://bit.ly/2Zek2Pw>, pp. 2-4, 2019.
- [3] M. Ribeiro y et al, «Evaluación del conocimiento de escala de dolor neuropático,» Clínica de Terapia da Dor, Salvador, 2019. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/coluna/a/76h6ZHqsynrLFvqGxzRfntB/?format=pdf&lang=en>.
- [4] D. Champín, «Dolor neuropático,» *Sociedad peruana de medicina interna*, vol. 18, n° 2, pp. 2-5, 2005. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rspmi/v18n2/a04v18n2>.
- [5] C. Muriel y et al, «XV Reunión de expertos 2015 "Dolor neuropático y cronicidad",» Universidad de Salamanca, Salamanca, 2015. Disponible en: <https://bit.ly/3A6beZP>.
- [6] R. Díaz y F. Maralunda, «Dolor crónico nociceptivo y neuropático en población adulta de Manizales (Colombia),» *Acta Médica Colombiana*, vol. 36, n° 1, p. 2, 2011. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v36n1/v36n1a03.pdf>.
- [7] M. Alves, «Comprender a Dor Neuropática Crónica,» Universidad de Porto, Porto, 2009. Disponible en: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/78589>.
- [8] N. Granda, Frecuencia de dolor neuropático en pacientes adultos mayores diabéticos con dolor crónico, Trabajo de fin de grado, Universidad científica del sur: Lima, Perú, 2019. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/614>.
- [9] C. Martínez y R. Fernández, Cuidados de enfermería en pacientes con dolor oncológico basado en la teoría de síntomas desagradables, servicio de oncología del hospital nacional Almanzor Aguinaga Asenjo – 2017. Trabajo de fin de grado, Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo: Chiclayo, Perú, 2018. Disponible en: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1628>.
- [10] F. Vásquez, «2019. Alternativas de manejo del dolor lumbar con componente neuropático [Presentación de PowerPoint],» Unidad de Dolor de la Clínica Solidaria, Lima, Disponible en: <https://bit.ly/2XzpP1n>.

- [11] M. Yujra, Sistema experto para el diagnóstico de cáncer de próstata con lógica difusa. Trabajo de fin de grado, Universidad Mayor de San Andrés: La Paz, Bolivia, 2017. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12544>.
- [12] A. Aliaga, Sistema experto para el diagnóstico de parkinson. Trabajo de fin de grado, Universidad mayor de San Andrés: La Paz, Bolivia, 2017. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/17150>.
- [13] R. Novillo y R. Del Pezo, Sistema experto para el diagnóstico de caries, gingivitis y descalcificación: Propuesta de diseño. Trabajo de fin de grado, Universidad de Guayaquil: Guayaquil, Ecuador, 2020. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48889>.
- [14] W. Solsol, Implementación de un sistema experto para el diagnóstico de niveles de estrés en los estudiantes del I.E.S.T.P - Rioja de la ciudad de Rioja, 2017. Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo: Tarapoto, Perú, 2017. Disponible en: <https://bit.ly/39sX2OH>.
- [15] F. Carita, Sistema experto para el diagnóstico de paraparesia espástica tropical asociado al HTLV - 1. Trabajo de fin de grado, Universidad nacional José María Arguedas: Andahuaylas, Perú, 2019. Disponible en: <https://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/541>.
- [16] S. Villanueva y W. Taboada, Sistema experto probabilístico para el diagnóstico de infecciones respiratorias agudas en el hospital provincial de Bolívar. Trabajo de fin de grado, Universidad nacional de Trujillo: Trujillo, Perú, 2018. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11020>.
- [17] K. Dávila, Sistema experto basado en lógica difusa para disminuir el riesgo de diabetes en personas jóvenes en la ciudad de Chiclayo - Perú en el 2019. Trabajo de fin de grado, USAT: Chiclayo, Perú, 2019. Disponible en: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2982>.
- [18] C. Bobadilla, Sistema basado en conocimiento mediante reglas para el diagnóstico de diabetes mellitus en un centro médico de nivel I y II del departamento de Lambayeque. Trabajo de fin de grado, USAT: Chiclayo, Perú, 2020. Disponible en: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2798>.

- [19] J. Velásquez y M. Martínez, «Dolor neuropático características clínicas y epidemiológicas,» *Medicina UPB*, vol. 24, n° 1, pp. 3 (49-56), 2005. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1590/159019361005.pdf>.
- [20] J. Mera, Manejo farmacoterapéutico del dolor neuropático. Trabajo de fin de grado, Universidad Complutense: Madrid, España, 2018. Disponible en: <https://bit.ly/39qYSQe>.
- [21] A. Martínez y et al, «Diagnóstico y tratamiento del dolor neuropático,» *Medicina Clinica*, vol. 133, n° 16, pp. 2-4, 2009. Disponible en: <https://bit.ly/3u1GJC5>.
- [22] S. Flóres y et al, «Manejo farmacológico del dolor neuropático,» *Revista Colombiana de Anestesiología*, vol. 37, n° 4, pp. 4-14, 2009. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rca/v37n4/v37n4a06.pdf>.
- [23] S. Forero, Fisioterapia en el dolor neuropático: una mirada desde la evidencia. Trabajo de revisión, Universidad del Rosario: Bogotá, Colombia, 2011. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/27743>.
- [24] M. Henao, CommonKADS-RT: Una Metodología para el Desarrollo de Sistemas Basados en el Conocimiento de Tiempo Real. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia: Valencia, España, 2001. Disponible en: <https://bit.ly/2ZnGq9n>.
- [25] H. Chacaltana, Sistema Experto para el Diagnóstico de Enfermedades Respiratorias en el Hospital Central de la Policía Nacional del Perú Luis N. Sáenz. Tesis de fin de grado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega: Lima, Perú, 2017. Disponible en: <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1360>.
- [26] S. Badaró, L. Ibañez y M. Agüero, «Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones,» Universidad de Palermo, Buenos Aires, 2013. Disponible en: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/view/122>.
- [27] M. Carlos, Sistema experto de diagnóstico médico del Síndrome de Guillian Barre. Trabajo de fin de grado, Universidad nacional mayor de San Marco: Lima, Perú, 2001. Disponible en: <https://bit.ly/39r8wCt>.
- [28] C. D'Negri y E. De Vito, «Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa,» *Revista argentina de medicina respiratoria*, vol. 1, n° 4, p. 129, 2006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3821/382138367007.pdf>.
- [29] D. Guzmán y V. Castaño, «La lógica difusa en ingeniería: principios, aplicaciones y futuro,» *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 24, n° 2, pp. 87 - 107, 2006. Disponible en: <https://bit.ly/3jydWAQ>.

- [30] S. Medina, «Estado de la cuestión acerca del uso de la lógica difusa en problemas financieros,» *Cuadernos de administración*, vol. 19, n° 32, pp. 195 - 223, 2006. disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/205/20503209.pdf>.
- [31] c. MDN, «MDN Web Docs,» 25 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://mzl.la/3hTExaT>. [Último acceso: 26 Abril 2021].
- [32] T. P. group, «What is PHP?,» The PHP group, 1 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.php.net/manual/en/intro-what-is.php>. [Último acceso: 26 Abril 2021].
- [33] L. Flores, «Strapp,» 30 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.strappinc.com/blog/strapp-datos/que-es-una-aplicacion-web>. [Último acceso: 14 Abril 2021].
- [34] ticportal.es, «Ticportal,» 09 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-database>. [Último acceso: 14 Abril 2021].
- [35] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista, *Metodología de la investigación*, México: McGraw-Hill, 2014. Disponible en: <https://bit.ly/2ZhWxoJ>.
- [36] N. Salkind, *Metodos de investigación*, México: Prentice Hall, 1999. Disponible en: <https://bit.ly/3nqsLbu>.
- [37] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de muestreo sobre una población a estudio,» *International journal of morphology*, vol. 35, n° 1, pp. 227-232, 2017. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>.

Anexos**ANEXO N° 01. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS****Guía de entrevista a medico neurólogo**

Objetivo: Obtener información del conocimiento del experto.

1. ¿A qué hace referencia dolor neuropático?

2. ¿Cómo afecta esta condición y/o enfermedad a las personas?

3. ¿En su opinión, cual es la situación de sus pacientes y de su vivencia a nivel local respecto al dolor neuropático?

4. ¿Cuáles son los antecedentes que desencadenan esta condición?

5. ¿Qué síntomas presentan las personas con dolor neuropático?

6. ¿Cómo describiría su procedimiento habitual de diagnóstico?

7. ¿Qué valor le entrega a usted tener la información clínica y un diagnóstico anticipado del paciente?

8. ¿Considera usted que un diagnóstico anticipado de esta condición médica ayudaría en la vida del paciente en cuanto cuidados y controles médicos?

9. ¿Qué ventajas le ofrece como médico tener un diagnóstico más profundo al tratar a sus pacientes?

10. ¿Qué bibliografía me recomendaría para analizar esta condición médica?

Guía de entrevista sobre el conocimiento

Objetivo: Obtener información del conocimiento usado.

1. ¿Con qué medios se contacta un paciente?

2. ¿Cómo inicia el proceso de atención de un paciente?

3. ¿Qué datos son los requeridos al solicitar una consulta?

4. ¿Cómo se registran los datos del paciente

5. ¿Dónde almacenan los datos del paciente?

6. ¿Cuántos ambientes existen en el lugar?

7. ¿Cuánto debe esperar un paciente por una cita?

8. ¿Cuánto debe esperar un paciente para su atención en día de la cita?

9. ¿Cuál es el tiempo promedio de atención de una cita?

10. ¿Cuántos pacientes son atendidos en un mes?

11. ¿Qué información obtenida previamente del paciente se usa?

12. ¿Qué información sobre el paciente es consultada dentro de la anamnesis?

13. ¿Qué información se usa para llegar a un diagnóstico?

14. ¿Cuál es el tiempo promedio para llegar a un diagnóstico una vez obtenida toda la información del paciente?

15. ¿Qué instrumentos se usan para hacer un diagnóstico?

16. ¿Qué procesos aparte del diagnóstico habitual se realizan para tener un veredicto más adecuado?

17. ¿Se solicitan exámenes auxiliares para tener el diagnóstico?

18. ¿Luego del diagnóstico qué procedimiento es realizado?

19. ¿Cómo se contactan con el paciente una vez atendido?

20. ¿Cómo el paciente puede ver su historial médico?

21. ¿Tienen los pacientes controles médicos adicionales a su diagnóstico?

22. ¿Trabajan con algún otro especialista?

23. ¿Reciben historias clínicas externas?

Ficha de cotejo aplicada al experto humano

Objetivo: validar el funcionamiento del sistema experto aplicando la lista de cotejo aplicada al experto humano, médico neurólogo.

Criterio	Calificación
¿Los diagnósticos identificados por el sistema son correctos?	Sí () No ()
¿Considera que los síntomas tomados por el sistema son adecuados para llegar a un diagnóstico?	Sí () No ()
¿Considera que el sistema es de fácil interacción?	Sí () No ()
¿Considera útil la información mostrada por el sistema experto?	Sí () No ()
¿Considera válido el sistema experto?	Sí () No ()
¿Recomendaría este sistema como apoyo a otros médicos?	Sí () No ()
Se consideraría valioso para la investigación un comentario o recomendación:	

Médico Neurólogo

Ficha de cotejo aplicada al experto humano

Objetivo: validar el funcionamiento del sistema experto aplicando la lista de cotejo aplicada al experto humano, medico neurólogo.

Criterio	Calificación
¿Los diagnósticos identificados por el sistema son correctos?	Sí (X) No ()
¿Considera que los síntomas tomados por el sistema son adecuados para llegar a un diagnóstico?	Sí (X) No ()
¿Considera que el sistema es de fácil interacción?	Sí (X) No ()
¿Considera útil la información mostrada por el sistema experto?	Sí (X) No ()
¿Considera válido el sistema experto?	Sí (X) No ()
¿Recomendaría este sistema como apoyo a otros médicos?	Sí (X) No ()
Se consideraría valioso para la investigación un comentario o recomendación:	
<p><i>Se recomienda con el transcurso de los años realizar sistemas similares para ayuda diagnóstica</i></p>	



 Dr. José María Cabrejo Bravo
 MEDICO NEUROLOGO
 C.P. 4476-40E 27640
 ESPECIALISTA EN TRASTORNOS
 Médico Neurologo

**ANEXO N° 02. CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO
ACREDITABLE DE LA ENTIDAD DONDE SE EJECUTÓ LA TESIS**

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE PRODUCTO ACREDITABLE

Por medio de la presente se constata la aprobación de la aplicación web presentada por el Sr. **Victor Fabrizio Mundaca Sánchez** como producto acreditable de su trabajo de investigación de fin de grado, cumpliendo los requisitos establecidos y planteados por este.

Se expide la presente constancia a petición del interesado para los fines que estime convenientes.

Chiclayo, octubre de 2021

Atentamente,



Dr. José Alex Cabrejo Bravo
MÉDICO NEURÓLOGO
C.O.P. 54475 R.N.E. 27640
MAESTRO EN TRASTORNOS
DEL MOVIMIENTO

Médico neurólogo