

Representación y manipulación de datos médicos en marcha patológica

Ana Aguilera¹ y Rosseline Rodríguez²

¹ Centro de Análisis, Modelado y Tratamiento de Datos CAMYTD, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Venezuela.

² Centro de Análisis, Modelado y Tratamiento de Datos, CAMYTD, Departamento de Computación, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
aaguilef@uc.edu.ve, crodrig@ldc.usb.ve

Resumen

La disponibilidad de grandes fuentes de datos ha sido un importante apoyo en la toma de decisiones. Sin embargo, en muchos casos esto se complica por el volumen y complejidad en que se presentan los datos y su manipulación. En la medicina se hace más patente pues, estas decisiones se deben tomar con celeridad. Por ello se han ido incorporando técnicas computacionales avanzadas que apoyen las decisiones que se deben tomar en diversas áreas del saber, y en particular en medicina. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al integrar los datos de la Laboratorio de Marcha del Hospital Ortopédico Infantil en una única base de datos que contiene información multimedia proveniente de los exámenes complementarios (señales y radiografías), del examen físico articular y del video de marcha de los pacientes. Así mismo con el objetivo de mostrar la utilidad de dicha base de datos, se estudió la pertinencia del uso de consultas difusas sobre estos datos como una herramienta poderosa para la toma de decisiones. Estas consultas permiten incorporar los beneficios de la lógica difusa para expresar requerimientos que involucran preferencias de usuarios y consultas más cercanas al razonamiento humano.

Palabras clave: marcha humana, base de datos, consultas difusas, integración de datos, flexibilidad.

Representation and Manipulation of Medical Data in Pathological Gait

Abstract

The availability of large data sources has been an important support for decision making; however, in many cases, this is complicated due to the volume and complexity with which data is presented and manipulated. In medicine, this situation becomes more evident because decisions must be made quickly; therefore, advanced computational techniques have been incorporated to support decisions in various areas of knowledge and particularly, in medicine. This paper presents the results obtained by integrating data from the Gait Laboratory of the Children's Orthopedic Hospital in a single database. This database contains multimedia information from complementary medical tests (signals and x-rays), physical examinations and patients' gait videos. Also, to show the usefulness of this database, the relevance of using fuzzy queries about this data as a powerful tool for decision making was studied. These queries permit incorporating the benefits of fuzzy logic to express requirements that involve the user's preferences and queries closer to human reasoning.

Key words: human gait, database, fuzzy queries, data integration, flexibility.

Introducción

Cada vez más se hace necesario la aplicación de técnicas avanzadas para el análisis de fuentes de información; las cuales han tenido un crecimiento vertiginoso en los últimos años, donde la ayuda del computador y de las herramientas adecuadas han facilitado la toma de decisiones sacando provecho de estas fuentes. En áreas como la medicina, la rapidez en la toma de decisiones en muchos casos se complica por el volumen, diversidad del conocimiento y la forma de acceder la información disponible.

La lógica difusa se caracteriza por querer cuantificar la incertidumbre (vaguedad, carencia de información o imprecisión). La teoría de los Conjuntos Difusos es más idónea que la lógica clásica para representar y analizar la mayoría del conocimiento humano, ya que permite que los fenómenos y observaciones tengan más de dos estadios lógicos. El éxito de la lógica difusa está en la facilidad con que puede ser cuantificada la incertidumbre usando el lenguaje natural. Su aplicación en el área de base de datos, es una de estas técnicas para acceder datos de una manera menos rígida y más cercana a la realidad.

Aunque existen otras técnicas del área de Inteligencia Artificial como las redes neuronales y los modelos probabilísticos, éstas no han resultado tan útiles en su capacidad

expresiva como la lógica difusa. La teoría de probabilidades permite un comportamiento racional frente a situaciones inciertas. Las decisiones se realizan en base a la maximización del valor esperado para el evento. La aplicabilidad que un evento predecible vaya a ocurrir, no necesariamente es válido en sistemas basados en conocimiento. El grado de incertidumbre del conocimiento podría ser incierto. Por otro lado, la mayoría de los sistemas reales no manipulan secuencias de eventos similares, estos podrían ser situaciones únicas. La medicina no es una ciencia exacta y tanto la representación como la manipulación de información deben tratarse de manera no exacta para acercarse más a la realidad.

Un Laboratorio de Marcha es un sistema de medición de avanzada tecnología para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del sistema locomotor y neuromuscular, como la parálisis cerebral. Está orientado al estudio analítico del movimiento y sus efectos durante la acción de caminar. El sistema de medición permite observar y analizar las modificaciones que se presenten en el ciclo de marcha de acuerdo a la patología del paciente. Los laboratorios de marcha son útiles para la investigación y estudio de las patologías, así como también son generadores de grandes cantidades de datos, las cuales pueden ser recopiladas para estudios posteriores que faciliten la toma de decisio-

nes en el futuro. En Latinoamérica se cuenta con valiosos laboratorios de marcha.

El Instituto Ortopédico Infantil Franklin D Roosevelt (2010), ubicado en Bogotá, Colombia, donde el médico puede tomar medidas como longitud del paso, cadencia, velocidad y actividad de los músculos involucrados; lo que permite realizar diagnósticos más acertados que garantizan cirugías más seguras. Desde el punto de vista deportivo, se pueden analizar y definir posiciones más cómodas y eficientes para movimientos propios de deportes como el golf, el tenis, la natación, los bolos, entre otros. En Argentina, la Fundación para la Lucha contra las Enfermedades Neurológicas de la Infancia (2010) posee otro de estos laboratorios. Su sistema permite la recolección simultánea de datos e imágenes en tres dimensiones a tiempo real.

Luego de un adecuado procesamiento se presenta la información en videos clínicos y gráficos comparados, que traducen los rangos de los movimientos y sus desviaciones del ideal para cada función. El equipo de las disfunciones de la marcha trabaja con el paciente, durante un período de dos a tres horas, donde se realiza un minucioso examen físico, se registra su marcha a través de seis cámaras infrarrojas, se estudia el funcionamiento de los músculos mediante el registro de electromiografía dinámica y en determinados casos con micro-electrodos. En Venezuela, se cuenta con el Laboratorio de Marcha del Hospital Ortopédico Infantil (LMHOI) (2010) ubicado en Caracas.

Técnicas computacionales avanzadas como las mencionadas anteriormente se han aplicado exitosamente en el campo de la medicina ortopédica, representando aportes importantes con avances de impacto social, económico y sanitario. Desde el punto de vista tecnológico, la recopilación de una importante base de información sobre la marcha humana constituye una rica fuente de conocimiento para investigaciones tanto en medicina, como en bases de datos.

Los objetivos de este trabajo son, por un lado, representar de manera integrada y unificada el repositorio de datos del LMHOI y por otro lado, mostrar el uso y la utilidad de consultas flexibles sobre este repositorio. Cabe destacar la importancia de la representación de estos datos que por primera vez se logra de manera integrada y usando un manejador de base de datos extendido que incorpora consultas flexibles. Específicamente, se quiere representar de manera integrada todos los datos provenientes del examen físico articular, los análisis de cinética, cinemática y electromiografía, estudios radiológicos y el video bidimensional de un paciente en un único repositorio de datos. Así mismo, mostrar la utilidad de las consultas flexi-

bles en este contexto, de modo de ofrecer una herramienta de consulta de datos más cercana a la realidad médica.

Este trabajo está organizado en cuatro secciones además de la introducción. La segunda describe la base de datos del LMHOI, y el proceso seguido para obtener su diseño conceptual. En la tercera se dan las bases teóricas de la lógica difusa que sustentan la investigación realizada. En la cuarta se muestra la aplicabilidad de las consultas difusas en el área de diagnóstico médico, sobre la base de datos del LMHOI. Finalmente, en la quinta se dan las conclusiones y trabajos futuros.

Base de datos del Laboratorio de Marcha HOI

Según la Fundación Hospital Ortopédico Infantil (2010), el Laboratorio de Marcha (LMHOI) de esta institución es el más avanzado de Venezuela y el tercero en Latinoamérica. En él se realiza un estudio analítico del movimiento y sus efectos durante la acción de caminar. Está dirigido a mejorar los resultados funcionales de cada paciente y disminuir la tasa de cirugías. Contiene un sistema de medición para la recolección simultánea de datos e imágenes en tres dimensiones, procesados conjuntamente luego se traducen en gráficos, donde se observan los rangos del movimiento y sus desviaciones del ideal. Ofrece sus servicios a niños con alteración de la marcha, afectados por enfermedades como Parálisis Cerebral, Espina Bífida, Mielodisplasia, malformaciones congénitas, entre otras.

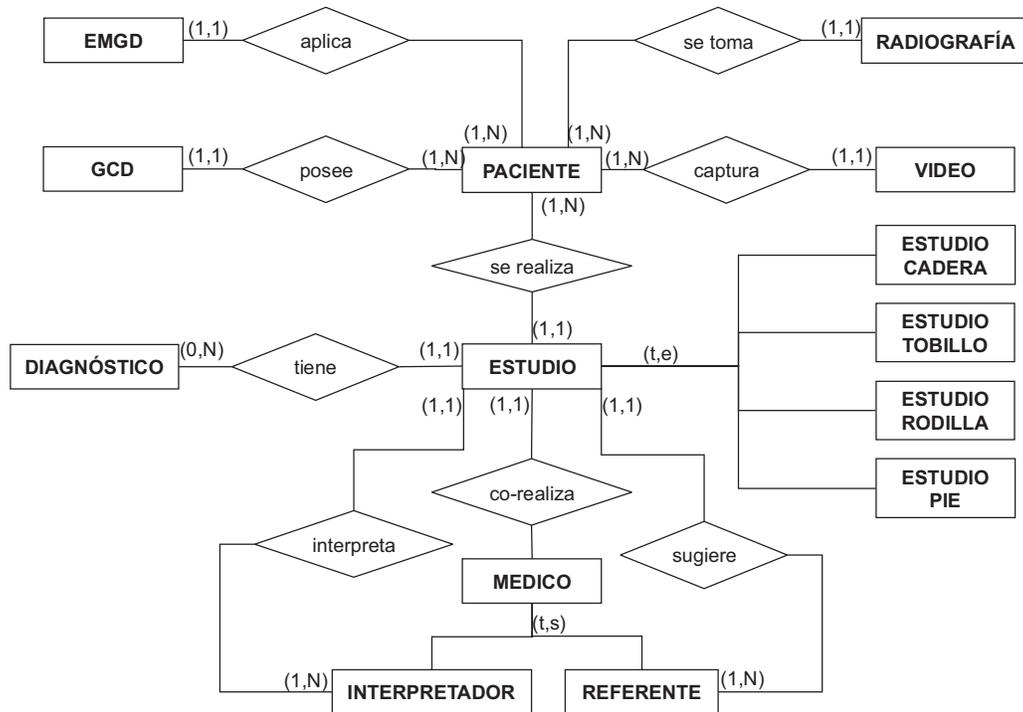
En este trabajo de investigación, se usó la base de datos del LMHOI recopilada entre los años 1996 y 2006. La información disponible en forma dispersa no facilitaba el proceso diagnóstico de manera rápida y efectiva, ni proporcionaba beneficios directos, pero constituía una base de datos importante para la toma de decisiones y la comprensión de fenómenos presentes en la marcha.

Los datos del examen físico articular realizado dentro del LMHOI son guardados en forma digital en una aplicación ACCESS; junto con videos y señales recopiladas durante el examen, a través del sistema de adquisición VICON 370. Este sistema genera archivos “.GCD” que almacenan los registros de cinemática y cinética; y registros de electromiografía en formato “.C3D”. La información está organizada en dos formularios: “Datos de Identificación del Paciente” y “Examen Físico Articular”. El primero contiene datos personales, antecedentes y referencias presentes antes de llegar al centro. El segundo almacena el resultado de la evaluación de las características biomecánicas observadas en las articulaciones de los miembros inferiores de los pacientes tal como lo avanzan León y Vasamón (2007).

Para esta base de datos no existía un diseño conceptual que permitiera hacer una correcta comprensión y evaluación de los datos, por lo que se procedió a construirlo usando técnicas de ingeniería inversa (León y Vasamón, 2007). Posteriormente, se realizó una migración de la base de datos ACCESS al sistema manejador PostgreSQL (Arroyo, 2009). Luego se extendió el diseño conceptual para inte-

grar los registros de electromiografía, cinemática y cinética según Cala (2009). El modelo conceptual resultante se muestra en la Figura 1 y su descripción en la Tabla 1.

La construcción del modelo conceptual, su posterior implementación en un diseño físico y migración al gestor PostgreSQL, ha permitido aplicar otras técnicas computacionales sobre dichos datos. Entre ellas, la elaboración y



Fuente: propia

Figura 1. Diseño conceptual de la bases de datos del LMHOI.

Tabla 1. Entidades del modelo conceptual de la base de datos.

Entidad	Contenido
Paciente	Datos personales de los pacientes: identificador, nombre, apellido, sexo, fecha nacimiento, número de historia, diagnóstico al llegar al laboratorio, etc.
Estudio	Valores medidos durante el examen físico. Son 153 atributos, entre ellos: fecha del estudio, valores biomecánicos, pruebas especiales realizadas, etc.
Diagnóstico	Tipos de diagnósticos que se determinan dentro del laboratorio de marcha. Compuesta por sólo dos campos: el identificador del diagnóstico y el nombre de la enfermedad que puede ser diagnosticada por el médico.
Referente	Datos de los médicos que refieren pacientes al laboratorio de marcha. Compuesta por dos campos: identificador y el nombre y apellido del médico.
Interpretador	Datos de los especialistas que realizan el informe médico del estudio realizado. Está compuesta por dos campos: el identificador y apellido.
Radiografía	Almacena imágenes de radiografías y su descripción (id, nombre y tamaño).
Video	Archivos de video bidimensional y su descripción (id, nombre y tamaño).
EMGD	Almacena los archivos de electromiografías (.C3D) y su descripción (id, nombre y observaciones).
GCD	Almacena archivos de cinemática y cinética (.GCD), y su descripción (id, nombre, tamaño y fecha de almacenamiento).

Fuente: propia.

entrenamiento del modelo, mediante estrategias de minería de datos, para una primera aproximación a la inferencia de reglas de diagnóstico de enfermedades comunes en los pacientes del LMHOI (León y Vasamón, 2007). Posteriormente, se usan las señales de cinética y cinemática de Aguilar (2009) y Cala (2009) para construir modelos de clasificación que permiten guiar el diagnóstico. También, se instaló el diseño físico en PostgreSQL (2010), extensión difusa de PostgreSQL.

Paralelamente se construyó, con la ayuda de un especialista médico en el área de Fisiatría, un diccionario de los campos de la base de datos del LMHOI. Esto permitió concluir que una buena cantidad de los datos contenían valores y significados que dependen de la apreciación del médico. Por ejemplo, la **selectividad**, capacidad de realizar un movimiento, puede especificarse con etiquetas como *muy bajo, bajo, medio, moderado, alto y muy alto*. Por otro lado, la **fuerza muscular**, capacidad del músculo para vencer una fuerza que se opone al movimiento, se puede representar con etiquetas como *poca, moderada, buena y mucha*. Este tipo de información vaga está presente en buena cantidad de los campos del examen físico articular, lo cual permite la aplicación consultas difusas a esta base de datos. Éstas expresan necesidades de información intuitivas, facilitando la toma de decisiones con el fin de disminuir la cantidad de operaciones y aumentar las expectativas de éxito.

Como se mencionó, esta base de datos ha sido de gran utilidad para la aplicación de técnicas de minería de datos (Aguilar, 2009; Arroyo, 2009; Cala, 2009) y constituye una fuente importante de consulta de casos clínicos. Una aplicación de apoyo al diagnóstico en marcha patológica sobre ésta donde se usan técnicas de minería de datos para clasificación de los mismos puede verse en Marcha (2010).

Por otro lado, si bien es cierto que los datos disponibles provienen del análisis de marcha patológica, esta representación de datos obtenida (modelo conceptual) es general para otros tipos de análisis de marcha como la no patológica. Este modelo ha sido propuesto para ser usado en aplicaciones sobre la marcha de deportistas.

Lógica difusa y SQLf

La lógica difusa, introducida por Zadeh (1965) con la intención de modelar clases imprecisas en Sistemas de Control, relaja la rigidez de la lógica clásica y la definición de valores precisos con el fin de facilitar al usuario el poder expresar sus preferencias (Galindo, 2008). Usada en una variedad de aplicaciones en el área de Inteligencia Artificial, su aplicación en Bases de Datos y Sistemas de Infor-

mación no ha sido aún explotada completamente (Cox, 1995).

Los conjuntos difusos, basados en esta lógica, están provistos de una gradualidad en la transición entre la inclusión y la exclusión completa de sus elementos. Así se define una función de membresía cuyo rango es el intervalo real $[0,1]$, la cual se denota con el símbolo μ_F . Por ejemplo, para el atributo “altura” de una persona, alguien que mide 2 mts es “alta” ($\mu_F=1$), alguien que mide 1,80 mts es “bastante alta” ($\mu_F=0,6$) y alguien que mide 1,60 mts es “baja” ($\mu_F=0$). Estas definiciones suponen que la persona es masculina y las etiquetas (*alta, bastante alta y baja*) indican las preferencias del usuario que dependen del contexto en que se ubique.

Para realizar consultas difusas a las bases de datos se utilizan lenguajes como SQLf (Bosc y Pivert, 1995) que es una extensión de SQL el cual permite el uso de condiciones difusas en los lugares donde va una condición booleana. Dichas condiciones involucran términos lingüísticos que expresan preferencias de usuario. La estructura básica en SQLf es el siguiente bloque multirelacional: **SELECT** <atts> **FROM** <rels> **WHERE** <fc> **WITH CALIBRATION** [k | α | k, α]. Su resultado es el conjunto difuso de filas con los atributos (<atts>) proyectados en el producto cartesiano de las relaciones (<rels>) que satisfacen la condición difusa (<fc>). Cada elemento está dotado de un grado de satisfacción, si su grado es cero no forma parte de la respuesta. La cláusula **WITH CALIBRATION** es opcional, e indica la escogencia de las mejores respuestas.

SQLf está dotado de construcciones adecuadas para la especificación de los términos lingüísticos. Ellos son: los **predicados**, componentes atómicos de la lógica difusa que corresponden a etiquetas lingüísticas como “joven”, “viejo”, “alto”, “bueno”. Los **cuantificadores** describen cantidades imprecisas, que extienden los cuantificadores universal y existencial. Se clasifican en: **absolutos** definidos sobre números reales y **proporcionales** definidos en el intervalo $[0,1]$ como cantidades relativas a un todo, por lo que son fraccionarias. Otros elementos son los **modificadores, comparadores y conectores** (Tineo, 1998). En este trabajo sólo se utilizan predicados y cuantificadores.

Las definiciones en SQLf de estos términos son: **CREATE FUZZY PREDICATE** <nombre> **ON** <dominio> **AS** <cd> y **CREATE** <naturaleza> **FUZZY QUANTIFIER** <nombre> **AS** (< v_1, v_2, v_3, v_4 >). Donde: <nombre> es la etiqueta que lo identifica; <dominio> es un rango de caracteres, de enteros, reales, o un tipo escalar definido por el usuario; <cd> es una especificación de conjunto difuso, siendo la más común el trapecioide (< v_1, v_2, v_3, v_4 >) que puede contener un valor infinito identificado con la

palabra clave INFINITE. Los cuantificadores difusos siempre son definidos con funciones de membresía trapezoidales. La <naturaleza> indica si es absoluto o relativo.

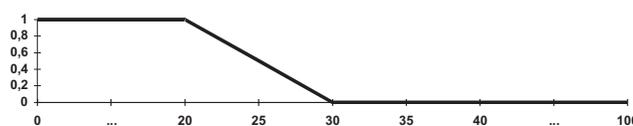
Por ejemplo, si se quiere definir el predicado difuso *joven* se usa la sentencia **CREATE FUZZY PREDICATE** *joven* **ON 0..120 AS** (INFINITE, INFINITE, 20,30) indicando que la función de membresía para el predicado *joven* tiene grado 1 de 0 a 20 años, y que a partir de allí decrece hasta 0 al llegar a la edad de 30 años. Esta función de membresía se muestra en la Figura 2.

Para definir un cuantificador difuso que exprese la cantidad *entre 20 y 30*, se usa **CREATE ABSOLUTE FUZZY QUANTIFIER** *Entre 20 y 30 AS* (15,20,30,35); y otro que expresa la idea de *la mayoría*, **CREATE RELATIVE QUANTIFIER** *la Mayoría AS* (0.5,0.75,1.0,1.0).

Consultas difusas a la base de datos del HOI

Interesantes experiencias de desarrollo de aplicaciones con consultas difusas han sido realizadas en los últimos años, aún en el campo de la medicina (Goncalves y Tineo, 2008). Collazos *et al.* (1996) afirman que las informaciones médicas iniciales son frecuentemente imprecisas, subjetivas o no específicas. La decisión médica está basada en incertidumbre y es el producto de un juicio que se basa en preferencias. El uso de la lógica difusa para expresar las necesidades de información de los usuarios cobra mayor importancia y aplicabilidad en los sistemas de toma de decisiones como es el caso de los sistemas de diagnóstico médico (Warren *et al.*, 2000; Rodríguez y Tineo, 2009). En efecto, la construcción de tales sistemas, exige una actitud introspectiva necesaria para la formalización del problema y de las soluciones consideradas (Collazos *et al.* 1996). La lógica difusa también amplía el espectro de resultados que los sistemas tradicionales pueden aportar. Logrando una mejor comprensión de los mecanismos de razonamiento médico (Aguilera y Subero, 2009).

Algunos esfuerzos se han desarrollado en esta área. Entre ellos, la empresa Caronte Group Network Services, S.A. (2008) implantó en la web un servicio gratuito, que permite obtener una lista de posibles diagnósticos proporcionando los síntomas oportunos. El Sistema de Aproximación al Diagnóstico permite aproximaciones a un posible diagnóstico, a partir de algoritmos matemáticos basados en estadísticas relativas a cada una de las enfermedades. En los resultados, este programa contempla: Enfermedad, Coincidencias, Valoración y Recomendaciones Diagnósticas. A pesar que la automatización de diagnósticos es cuestionable (Aguilera y Subero, 2009) este trabajo



Fuente: propia

Figura 2. Función de Membresía del predicado difuso *joven*.

muestra el empleo de técnicas aproximadas para el apoyo a la toma de decisiones diagnósticas.

Por otro lado, García-Gómez (2004) desarrolló una herramienta de ayuda a la decisión para el diagnóstico clínico implantada en la Web. Denominada SOC (Sistema de Orientación Clínica); expone dos ejemplos de ayuda, el primero es útil para el diagnóstico de tumores de partes blandas, y el segundo para anemias microcíticas. Estas aplicaciones de diagnóstico de enfermedades han tenido éxito por su utilidad, pero tendrían mayor flexibilidad bajo un enfoque difuso. Asimismo Goncalves y Tineo (2008) presentan la aplicación SADER para el apoyo al diagnóstico de enfermedades respiratorias basada en lógica difusa. Esta experiencia demostró la factibilidad de desarrollos que usen consultas difusas sobre datos médicos, aunque su aplicabilidad con datos reales aún debe llevarse a cabo.

En Goncalves *et al.* (2009) se propone una metodología de desarrollo de software que incorpora los beneficios de la lógica difusa para expresar requerimientos de información que involucran preferencias de usuario. En ese trabajo, se toma como base esa metodología añadiendo algunos pasos para que se adapte al problema planteado. Estos son: recopilación de datos, análisis y diseño de datos para su representación en el modelo conceptual, migración física de los datos a un sistema gestor de base de datos robusto que permita el acceso a los datos usando lógica difusa, diseño de las consultas difusas, diseño del sistema de acceso a los datos que incorpora dichas consultas, pruebas y validación.

Dado que se disponía de una base de datos histórica del LMHOI organizada y extendida con un número de registros interesantes, se procedió a definir un conjunto de términos difusos que expresaban las preferencias de los usuarios y permitían resolver consultas difusas. Estos son los predicados *joven*, *viejo*, *delgado*, *obeso*, *atonía*, *hipertensión*; y los cuantificadores *al menos 3* y *la mayoría*. Las definiciones en SQLf se muestran en la Tabla 2.

Las consultas difusas fueron diseñadas en base a las preguntas que comúnmente los médicos se hacen al emprender estudios de análisis de datos históricos, para ayuda en la toma de decisiones relevantes, dentro del contexto

Tabla 2. Definiciones SQLf de los términos difusos.

```
CREATE FUZZY PREDICATE viejo ON 0..120 AS (20, 27,
INFINITE, INFINITE);
CREATE FUZZY PREDICATE obeso ON 1..200 AS
(60,80,INFINITE,INFINITE);
CREATE FUZZY PREDICATE atonía ON 0..5 AS
(INFINITE, INFINITE, 1, 4);
CREATE ABSOLUTE QUANTIFIER al_menos3 AS (1.0,
3.0, INFINITE, INFINITE);
CREATE RELATIVE QUANTIFIER la_mayoría AS
(0.5,0.75,1.0,1.0);
```

Fuente: propia.

del laboratorio e incluso del hospital. Las consultas seleccionadas se muestran en la Tabla 3.

Para ejecutar las consultas se usó el manejador de base de datos extendido PostgreSQLf. Resultados preliminares sobre las pruebas de rendimiento muestran que el desempeño del manejador no se ve penalizado y las ganancias en expresividad son bastante importantes. En la consulta C1 se usan tres predicados difusos *viejo*, *obeso* y *atonía*, sobre los campos “edad”, “peso” y “tono flexores rodilla izquierda”, respectivamente. La conjunción (AND) entre las expresiones es difusa pues el resultado de la evaluación de cada predicado lo es. En el caso de la consulta C2 se usa el cuantificador *la_mayoría*, sobre el conjunto de todos los estudios realizados a las extremidades inferiores. En la consulta C3, se observa el uso de otro cuantificador: *al_menos3* sobre los mismos estudios.

Al ejecutar la consulta C1 sobre los datos del LMHOI se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 4, ordenados descendientemente por el grado de membresía.

Esta columna muestra la pertinencia de cada respuesta a la consulta. Las primeras tres filas tienen grado de membresía 1.00 (completamente cierto), por lo que serían el resultado de una consulta clásica equivalente. En las siguientes filas el grado de membresía disminuye poco a poco acercándose a 0.00 (completamente falso), sin embargo, pueden ser interesantes aquellas que están por encima de 0.60. El usuario decide su nivel de tolerancia a las respuestas con el fin de rechazar las que no lo cumplen. Esto se realiza automáticamente por medio de la cláusula “WITH CALIBRATION 0.6” de SQLf. Al ejecutar las consultas C2 y C3 se obtuvieron los resultados que se muestran en las Tablas 5 y 6.

Similar a la consulta C1, los datos fueron ordenados de manera descendente, por el grado de membresía. Igualmente, se puede observar como las respuestas se presentan de manera gradual desde “completamente cierto” (1.00) hasta un grado cercano a “completamente falso” (0.00). Queda del usuario decidir su nivel de tolerancia a través de la cláusula “WITH CALIBRATION”.

En estas tres consultas se muestra el poder de la lógica difusa como herramienta que facilita la toma de decisiones, dando mayor flexibilidad y permitiendo al usuario libertad en la utilización de las respuestas provistas por el manejador de base de datos. Otras consultas pueden ser observadas en PostgreSQLf (2010).

La gradualidad que acompaña las respuestas de consultas difusas, permite observar resultados que pueden ser interesantes para el investigador. Estos resultados serían rechazados por una consulta clásica. Este trabajo constituye el primero en integrar los datos en el laboratorio de marcha del Hospital Ortopédico Infantil (HOI) y constituye un avance importante al facilitar la disponibilidad de la in-

Tabla 3. Implementación de las consultas difusas en SQLf.

Id	Implementación SQLf
C1	// Pacientes <i>viejos</i> y <i>obesos</i> con <i>atonía</i> en extensores rodilla izquierda SELECT p.id_paciente FROM estudio AS e, paciente AS p WHERE p.id_paciente=e.paciente_id AND p.edad = <i>viejo</i> AND p.peso= <i>obeso</i> AND e."tono extensores rodilla izquierda" = <i>atonía</i> GROUP BY id_paciente;
C2	// Pacientes <i>viejos</i> que tienen <i>atonía</i> en la <i>mayoría</i> de los estudios realizados SELECT p.id_paciente, e.edad FROM estudio AS e, paciente AS p WHERE p.id_paciente=e.paciente_id AND e.edad = <i>viejo</i> AND <i>la_mayoría</i> (e."tono extensores rodilla izquierda" = <i>atonía</i> , e."tono extensores rodilla derecha" = <i>atonía</i> , <i>otros estudios</i> e."tono evertores derechos" = <i>atonía</i> , e."tono evertores izquierdos" = <i>atonía</i>);
C3	// Pacientes <i>viejos</i> y <i>obesos</i> que tienen <i>atonía</i> en <i>al menos 3</i> de los estudios realizados SELECT p.id_paciente, e.edad, e.peso FROM estudio AS e, paciente AS p WHERE p.id_paciente=e.paciente_id AND e.edad = <i>viejo</i> AND e.peso= <i>obeso</i> AND <i>al_menos3</i> (... <i>los mismos estudios</i> ...) GROUP BY id_paciente, e.edad, e.peso;

Fuente: propia.

Tabla 4. Resultado de la consulta C1.

id_paciente	edad	peso	tono ext rodilla izq	Grado Membresía
534	35	90,3	1	1,00
626	52	85,6	0	1,00
1022	57	110,1	0	1,00
1231	54	76,8	0	0,84
1478	30	75,8	0	0,79
1469	30	88,3	2	0,67
929	27	72,1	0	0,61
1271	24	96,8	0	0,57
924	28	70,0	0	0,50
1121	35	69,2	0	0,46
1446	55	67,1	0	0,36
1116	56	66,3	0	0,32
1367	22	79,8	0	0,29
1482	26	62,9	0	0,15

Fuente: propia.

Tabla 5. Resultado de la consulta C2.

id_paciente	edad	Grado Membresía
1478	30	1,00
1480	55	1,00
994	26	0,86
143	25	0,71
585	30	0,67
261	24	0,57
1271	24	0,57
513	23	0,43
1079	24	0,33
30	22	0,29
382	22	0,29
12	21	0,14

Fuente: propia.

Tabla 6. Resultado de la consulta C3.

id_paciente	edad	peso	Grado Membresía
534	35	90,3	1,00
626	52	85,6	1,00
1231	54	76,8	0,84
1478	30	75,8	0,79
808	35	75,2	0,76
1218	63	72,7	0,64
1271	24	96,8	0,57
924	28	70,0	0,50
1208	26	69,3	0,47
1121	35	69,2	0,46
513	23	74,6	0,43
1446	55	67,1	0,36

Fuente: propia.

formación al personal médico tanto para fines diagnósticos como de entrenamiento. Las primeras evaluaciones de usuario son presentadas en el trabajo de Aguilar (2009). Con el fin de obtener una interfaz amigable, de fácil uso y manipulación, que brinde la funcionalidad requerida y que se adapte al estándar de visualización utilizado en el LMHOI, se realizó un formulario de preguntas basado en ISO/IEC 9126 para los usuarios que frecuentemente usan la aplicación: fisioterapeutas, operarios del sistema de adquisición y personal médico.

Conclusiones

Los datos derivados del análisis clínico de la marcha constituyen una fuente importante de información con carácter diagnóstico y pronóstico. Así mismo, es una fuente rica para el análisis de datos con miras futuras a estudios en prevención, epidemiología y otros. La integración de datos facilita la toma de decisiones, ya que la información almacenada está siempre disponible y consultable en cualquier momento en un único repositorio. Las consultas fle-

xibles a la base de datos acercan al utilizador, especialista o no, a un lenguaje más natural y humano que los ofrecidos por las consultas clásicas con un poder expresivo limitado. Además, éstas apoyan la toma de decisiones al proveer gradualidad en las respuestas reportadas, eliminando la rigidez de las consultas clásicas que rechazan resultados que podrían ser interesantes durante el análisis realizado por un investigador. Es el usuario que decide su nivel de tolerancia a las respuestas no deseadas. Este trabajo ha mostrado la factibilidad de implantación del diseño físico de una base de datos, con datos derivados de un contexto real, en la versión extendida del PostgreSQL llamada PostgreSQLf. Dentro de los trabajos futuros y en curso se encuentran, la explotación usando diferentes técnicas de minería de datos y pruebas adicionales de rendimiento.

Agradecimientos

Gracias al Ministerio de Ciencias y Tecnología por su apoyo a través del proyecto FONACIT G-200500278. Agradecemos a Dios, nuestra inspiración y fortaleza.

Referencias

- AGUILAR, J. (2009). Aplicación de Apoyo al Diagnóstico en Marcha Patológica a partir de Registros de Cinemática, Proyecto de grado, Universidad de Carabobo. Venezuela.
- AGUILERA, A.; SUBERO A. (2009). Razonamiento Médico Diagnóstico, En: **Revista Tekhné**, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela, Vol. 13:71-82.
- ARROYO, E. (2009). Aplicación de Apoyo al Diagnóstico en Marcha Patológica a partir de Registros de Electromiografía. Proyecto de grado, Universidad de Carabobo. Venezuela.
- BOSC, P.; PIVERT, O. (1995). SQLf: A Relational Database Language for Fuzzy Querying. En: **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**. Vol. 3:1-17.
- CALA, L. (2009) Aplicación de Apoyo al Diagnóstico en Marcha Patológica mediante análisis cinético, Proyecto de grado, Universidad de Carabobo. Venezuela.
- CARONTE GROUP NETWORK SERVICES. (2008). Sistema de Aproximación al Diagnóstico. (Documento en Línea). Disponible: <http://www.tudiagnostico.com> (consulta: 2010, enero 22).
- COLLAZOS, K.; BARRERO, J.; NASSAR, S. (1996). Lógica fuzzy para el tratamiento de la incerteza en el raciocinio médico. (Documento en línea). Disponible: <http://www.inf.ufsc.br/~l3c/artigos/Collazos96b.pdf>.
- COX, E. (1995). Relational Database Queries using Fuzzy Logic. En: **Artificial Intelligent Expert**, pp. 23-29.
- FUNDACIÓN HOSPITAL ORTOPÉDICO INFANTIL. (2010). (Documento en Línea). Disponible: <http://www.ortopedicoinfantil.org> (consulta: 2010, marzo 30).
- FUNDACIÓN PARA LA LUCHA CONTRA LAS ENFERMEDADES NEUROLÓGICAS DE LA INFANCIA. (2010). (Documento en Línea). Disponible: <http://www.fle-ni.org.ar/> (consulta: 2010, marzo 30).
- GALINDO, J. (2008). Introduction and Trends to Fuzzy Logic and Fuzzy Databases. En: J.Galindo (editor). **Handbook of Research on Fuzzy Information Processing in Databases**. (pp.1-33). Hershey, PA, USA: Information Science.
- GARCÍA-GÓMEZ, J. M.; VIDAL, C.; VICENTE, J.; MARTÍ-BONMATÍ, L.; ROBLES, M. (2004). Medical Decision Support System for Diagnosis of Soft Tissue Tumors based on Distributed Architecture, En: **Engineering in Medicine and Biology Society**, (IEMBS'04). 26th Annual International Conference of the IEEE 1-5 sept, 2004. (pp. 3225-3228).
- GONCALVES, M.; TINEO, L. (2008). SQLf y Sus Aplicaciones. En: **Revista Avances en Sistemas e Informática**, Vol. 5(2):33-40.
- GONCALVES, M.; RODRÍGUEZ, R.; TINEO, L. (2009). Incorporando consultas difusas en el desarrollo de software. En: **Revista Avances en Sistemas e Informática**, Vol. 6(3): 87-101.
- INSTITUTO DE ORTOPEDIA INFANTIL ROOSEVELT. (2010). Disponible: <http://www.institutoroosevelt.org.co/> (consulta: 2010, marzo 30).
- LEÓN, Y.; VASAMÓN (2007). D. **Aplicación de Minería de Datos en Base de Datos Médicas**. Proyecto de Grado, Universidad de Carabobo. Venezuela.
- MARCHA (2010) Aplicación de Apoyo al Diagnóstico en Marcha Patológica Disponible: <http://bd1.facyt.uc.edu.ve/Marcha/>
- POSTGRESQLF (2010) Extensión difusa de PostgreSQL. Disponible: <http://bd1.facyt.uc.edu.ve/PostgreSQLf/index.php?doctype=PSQLFc>.
- RODRÍGUEZ, R.; TINEO, L. (2009). Elementos Gramaticales y Características que Determinan Aplicaciones con Requerimientos Difusos. En: **Revista Tekhné**. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela, Vol. 12(1):50-64.
- TINEO, L. (1998). Interrogaciones Flexibles en Bases de Datos Relacionales. Trabajo de Ascenso para optar a la categoría de Profesor Agregado, Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
- WARREN, J.; BELIAKOV, G.; ZWAAG, B. (2000). Fuzzy Logic in Clinical Practice Decision Support Systems. **Proceeding of 33rd Hawaii International Conference on System Sciences**. Vol. 5:5010 (1-10).
- ZADEH, L. A. (1965). Fuzzy Sets. En: **Information and Control**. Vol. 8(3):338-353.