

Interfaz Móvil de una Aplicación Sensible al Contexto Utilizando Base de Datos Difusas

José Cadenas, Soraya Carrasquel, Rosseline Rodríguez, Daniela Ruiz, Ruben Serradas
jtcadenas@usb.ve, scarrasquel@usb.ve, crodrig@usb.ve, daru015@gmail.com, rubenserradas@gmail.com

Departamento de Computación y Tecnología de la Información, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

Resumen: La forma como los seres humanos se comunican depende del contexto, determinado por el medio que lo rodea, la percepción de cada individuo y a factores personales intrínsecos. Este tipo de comunicación no se puede trasladar directamente a los sistemas tradicionales ya que se debe proporcionar explícitamente, es decir, el contexto es preestablecido por el diseñador del sistema. Esta es la razón por la que la mayor parte del contenido que éstos retornan no está personalizado. En la actualidad, se requiere desarrollar sistemas inteligentes sensibles al contexto añadiendo nuevas funcionalidades: la posibilidad de representar información imperfecta (imprecisa, incierta o vaga), así como consultar bases de datos utilizando etiquetas lingüísticas permitiendo aproximarse al lenguaje natural humano. Estas funcionalidades se pueden añadir utilizando bases de datos difusas. El desarrollo de sistemas personalizados permitirá filtrar la gran cantidad de información proporcionada debido a los avances en las Tecnologías de Información y Comunicación. Por otra parte, el uso de dispositivos móviles está aumentando considerablemente. Por estas razones, en este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de interfaz móvil para una aplicación web sensible al contexto utilizando bases de datos difusas, donde cada usuario obtiene respuestas con valores personalizados de acuerdo a sus definiciones de etiquetas lingüísticas.

Palabras Clave: Bases de Datos Difusas; Aplicaciones Sensibles al Contexto; Interfaz Móvil.

Abstract: The way humans communicate is depending of the context, it is determined by the surrounding environment, the perception of each individual, and intrinsic personal factors. This type of communication cannot be transferred directly to computer systems, because we must provide the information to traditional systems in an explicitly way, that is the context is pre-established by the system designer. This is the reason because the most part of content that they deploy is not personalized. Nowadays, it is desirable to develop context-aware intelligent systems with new functionalities: the possibility to represent imperfect information (imprecise, uncertain or vague), and query databases using a language closer to human natural language. These aims can be achieved using fuzzy databases. The development of more personalized systems allows filter the large amount of information provided due to the advances of Information and Communication Technologies. Moreover, in actual world the use of mobile devices is increasing. In this proposal, we developed a mobile interface for a context-aware web application that uses a fuzzy database. In this interface, each user obtains personalized answers according to his/her definitions of linguistic labels.

Keywords: Fuzzy Database; Context-Sensitive Applications; Mobile Interface.

I. INTRODUCCIÓN

Es muy frecuente que las respuestas, en el proceso de comunicación entre seres humanos, cambien dependiendo de diversos factores. Esto es especialmente cierto en la forma en que se comparten ideas: en distintos momentos pueden cambiar el significado de una misma palabra, entre otras cosas en función del entorno cambiante, la percepción de las personas y a factores intrínsecos tales como las emociones. Una de las causas es que los seres humanos comparten una información situacional implícita: el contexto, en el cual se basan para dar significado a las palabras. Lamentablemente, esta habilidad en el proceso de comunicación entre personas no se transfiere de

una forma adecuada en la interacción entre las personas y los sistemas informáticos. Este proceso además es dinámico.

En la computación tradicional el usuario tiene mecanismos fijos, en su mayoría restrictivos, para proporcionar datos a la máquina y recibir información de ésta [1]. Dichos mecanismos no se adaptan a la actual sociedad de la información y el conocimiento, donde los dispositivos móviles toman cada vez más protagonismo. El usuario resulta sobrecargado de información, generalmente redundante o de poco interés para él y con pocas capacidades para su manipulación; además, está sujeto a consideraciones primarias de diseño, impuestas por el diseñador de las aplicaciones que usa habitualmente.

Muchas aplicaciones permiten crear perfiles de usuarios que pueden basarse tanto en la información proporcionada por el mismo como de la extraída por la interacción con otras aplicaciones, por ejemplo los sitios web por los que navega. Así, las personas se sentirán más identificadas con el sistema, el cual tendrá más datos de insumo para lograr personalizar las respuestas. A la teoría que sustenta este modelo de trabajo se le conoce como Sensibilización al Contexto [2], el cual es un tema de interés actual en el desarrollo de aplicaciones. Mediante este paradigma se puede lograr la personalización de las aplicaciones de manera que el comportamiento del sistema varíe según el contexto del usuario: ubicación geográfica, dispositivo que utiliza, el clima, percepciones de las personas, entre otros.

En el caso particular de aplicaciones cuyos usuarios trabajan en centros de salud, la atención que se le debe prestar a estos factores es crítica pues el ambiente obliga a tomar decisiones con rapidez. Además se agregan otros factores como los distintos roles producto de las diversas actividades que se realizan, así como variaciones bruscas en cuanto a circunstancias físicas, emocionales y sociales en que se encuentren [3]. Por último, las apreciaciones de un médico en este ambiente están muy ligadas a su experiencia personal por lo que debe la información que puede proveer a un sistema informático es imperfecta (imprecisa, incierta o vaga) [4].

Por ello, en el área de computación flexible (*Soft Computing*), se propone la Teoría Computacional de Percepciones. Esta teoría se basa en la capacidad de los seres humanos de calcular y analizar información por medio de percepciones que producen normalmente información imperfecta [5]. En la vida real se puede notar que las personas se comunican por medio de etiquetas en lugar de datos precisos pues es más natural hablar de una persona *alta* que indicar su estatura exacta: “mide 186 cm.”. Sin embargo, estas etiquetas también dependen de la percepción de la persona que la esté utilizando. Es diferente la percepción de estatura *alta* que tiene un jugador de baloncesto a la que tiene un jinete de carreras de caballos.

En las bases de datos tradicionales se modela la información de un universo específico usando datos precisos. Sin embargo, en muchos casos representar la realidad donde hay muchos datos imperfectos se complica pues la gestión de los datos en estos sistemas tradicionales sufren el problema denominado “rigidez”, debido a que utilizan el paradigma de consulta de coincidencia exacta [6]. Esto acarrea dos inconvenientes principales: la respuesta vacía (condiciones muy restrictivas) o demasiadas respuestas (condiciones poco estrictas) [7].

La Teoría de los Conjuntos Difusos [8] ha sido utilizada para modelar los datos imperfectos, incorporándolos, entre otras ramas, a las bases de datos tradicionales. Asimismo, la lógica difusa basada en esta teoría, se ha usado para expresar consultas flexibles (difusas) sobre datos que pueden ser precisos o imperfectos [9]. A este tipo de sistemas se les conocen como bases de datos difusas [10]. Utilizando este enfoque se pueden almacenar etiquetas con una semántica que exprese las preferencias de los usuarios. Por ejemplo, para describir el peso de un paciente, puede usarse la etiqueta “obeso” con su correspondiente función de pertenencia, en lugar de indicar el valor preciso de éste. Además, esto permite introducir la noción de gradualidad en los términos lingüísticos utilizados [11]. Adicionalmente, cada usuario puede definir

etiquetas con valores personalizados para cada variable lingüística, permitiendo que los significados cambien al considerar el usuario como contexto.

El contexto del usuario ha sido ampliamente estudiado en áreas como Computación Ubicua, Interacción Persona Ordenador, Inteligencia Artificial, Sistemas de Recuperación y Recomendación. Sin embargo, muy poco se ha investigado en el área de Sistemas de Información utilizando Bases de Datos Difusas. En esta propuesta se desarrolla una interfaz móvil de una aplicación web sensible al contexto utilizando bases de datos difusas, tomando como trabajo previo el uso de dominios difusos con semántica adaptable propuesta en [12][13].

El presente trabajo está organizado en cuatro secciones después de la introducción. En la Sección II, se muestra el marco teórico que sustenta el desarrollo de la interfaz móvil de la aplicación sensible al contexto, en éste se explicarán diversos conceptos fundamentales para la investigación. En la Sección III se describen las tecnologías utilizadas en el desarrollo de la interfaz móvil y la motivación para su uso. En la Sección IV, se detallan los aspectos relevantes en el desarrollo de la propuesta, la metodología usada y las funcionalidades que brinda al usuario. Finalmente, en la Sección V, se exponen las conclusiones y se plantean los trabajos futuros.

II. MARCO TEÓRICO

La fundamentación teórica está constituida por dos áreas que tienen bases comunes unidas a la sensibilización al contexto para producir la interfaz móvil propuesta, es por ello que se presenta a continuación un breve marco teórico donde se describen las Bases de Datos Difusas, la Teoría Computacional de Percepciones y la arquitectura de una Aplicación Web sensible al contexto que utiliza Bases de Datos Difusas.

A. Bases de Datos Difusas

En el modelado de problemas del mundo real es frecuente encontrarse con categorías de objetos que no tienen un criterio bien definido de pertenencia tal como ocurre en un conjunto tradicional. Asimismo, estos objetos pueden tener información imperfecta difícil de definir en bases de datos tradicionales o que presentan imprecisión en el valor obtenido por determinada fuente. Una herramienta comúnmente utilizada para representar este tipo de información es la Teoría de Conjuntos Difusos [8].

En un conjunto difuso, sus elementos tienen asociado un grado de pertenencia al conjunto en el intervalo $[0,1]$. La función de pertenencia al conjunto difuso A de los elementos de un universo X se describe como $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, de forma que para cada x , $\mu_A(x)$ representa el grado de pertenencia del elemento x sobre el conjunto difuso A . Mientras más se acerque $\mu_A(x)$ a la unidad, mayor será la pertenencia al conjunto difuso. El 1 representa la pertenencia total al conjunto y el 0 la no pertenencia. Estos dos valores corresponden a la definición de pertenencia en conjuntos tradicionales.

Hay diversas formas de representar funciones de pertenencia, una de las más usuales es la que se simboliza gráficamente en forma de trapecio, el cual matemáticamente lo definen cuatro valores que constituyen los puntos de inflexión del trapecio (v_1, v_2, v_3, v_4) , con $v_i \in X$, $i \in \{1, 2, 3, 4\}$. Si los dos primeros valores son 1 representan un trapecio incompleto “abierto por la izquierda”, mientras que si los dos últimos valores son

iguales al valor máximo del dominio entonces representan un trapecio incompleto “abierto por la derecha”.

También se puede especificar la función de pertenencia a través de un conjunto difuso por extensión, indicando para cada elemento del dominio el grado de pertenencia de dicho elemento al conjunto difuso $\{x_1/\text{grado}_1, \dots, x_n/\text{grado}_n\}$.

En las bases de datos difusas se utiliza esta teoría para representar datos imperfectos y para expresar consultas flexibles a bases de datos tradicionales, donde la condición de la consulta puede involucrar etiquetas lingüísticas que representan los valores difusos. Estas etiquetas son términos imperfectos (imprecisos, inciertos o vagos) del lenguaje natural utilizado por el ser humano.

Uno de los principales beneficios de un gestor de base de datos difuso es que proporciona una representación de los requerimientos de los usuarios más cercana a sus preferencias y al mundo real. Esto permite identificarse más fácilmente con la manera en que se muestran y capturan los datos, lo cual se utilizará para personalizar y sensibilizar las aplicaciones.

En una base de datos difusa se pueden encontrar atributos cuyos valores son afectados por algún tipo de imperfección. Existen distintos dominios difusos que pueden ser usados para representar estos valores. Estos dominios permiten modelar y representar datos imperfectos y/o flexibilizar las consultas. En la Figura 1 se muestra una jerarquía de clases de dominios difusos basados en la propuesta de [14].

En esta jerarquía, según la cardinalidad se pueden distinguir dos tipos de dominios difusos: los atómicos y los conjuntivos. En los atómicos, el atributo sólo puede tomar un valor mientras que en los conjuntivos, el atributo puede tener un valor múltiple representado por un conjunto difuso.

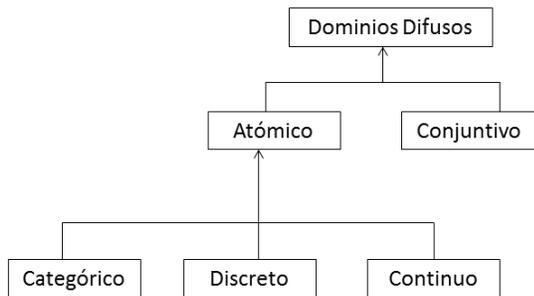


Figura 1: Jerarquía de Clases de Dominios Difusos

Los dominios atómicos se pueden clasificar en categóricos, discretos o continuos. En los dominios categóricos sus valores son etiquetas lingüísticas que no tienen una representación semántica asociada por lo que es necesario crear una matriz de semejanza para la comparación entre éstas. Como ejemplo, con este dominio se pueden representar los distintos tipos de marcha, deformada o no, que puede tener un paciente, usando las etiquetas lingüísticas: *Atáxica*, *Danzante*, *Parkinsoniana*, *Normal*. Luego, el médico especialista podría decidir, de acuerdo a su experiencia previa y opinión personal, que el grado de similitud entre una marcha *parkinsoniana* (aquella que aparece en forma típica en los síndromes parkinsonianos avanzados) y una marcha *normal* es de 0.3. Este valor se colocaría en la matriz de semejanza.

En los dominios discretos, los valores pueden ser etiquetas lingüísticas cuyos elementos están en un conjunto soporte discreto y el grado de pertenencia corresponde a la asociación de una etiqueta con un elemento del conjunto discreto. Por ejemplo, se puede expresar el tono flexor dorsal de un paciente utilizando las etiquetas lingüísticas *Atonía*, *Hipotonía*, *Hipertonía* y *Normotonía*; además existe una tabla estándar que utilizan los médicos para reflejar este tono muscular (usualmente los números naturales del 1 al 4). Para establecer correspondencia entre estas dos formas de expresar el tono flexor dorsal se usa una tabla de grados de similitud entre las etiquetas y los números.

Por último, en el dominio continuo cada etiqueta lingüística está definida por una función matemática cuyo conjunto soporte es continuo, usualmente se utiliza una función cuya representación gráfica es un trapecio (puede ser completo o abierto a uno de los lados). Como ejemplo, se pueden definir las etiquetas asociadas al atributo peso (*delgado*, *normal* y *obeso*) con funciones trapezoidales como se muestra en la Figura 2. Al atributo susceptible de ser representado por etiquetas lingüísticas se le denomina variable lingüística.

Como ejemplo de un dominio conjuntivo, se tiene que un paciente con problemas de marcha puede utilizar distintos tipos de dispositivos para mejorar su movilidad, lo cual puede representarse indicando para cada uno de tales dispositivos la frecuencia de uso por el paciente. Así se podría tener, como valor de la frecuencia para un paciente dado, un conjunto difuso de etiquetas similar a $\{\text{andadera}/1, \text{bastón}/0.75, \text{muletas}/0.50, \text{silla de ruedas}/0.25\}$.

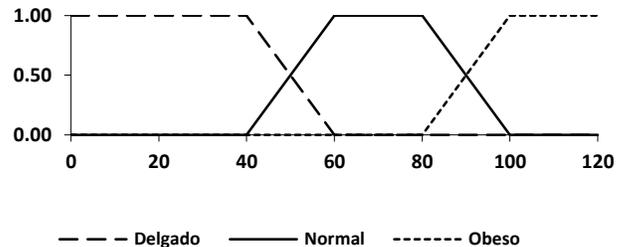


Figura 2: Etiquetas Lingüísticas Correspondientes a la Variable Lingüística “peso”

B. Teoría Computacional de Percepciones

Las decisiones que toma el ser humano basándose en percepciones son muy frecuentes, desde manejar una bicicleta hasta estacionar un carro, la información con la cual se cuenta en estas acciones es imperfecta, además se utilizan los estímulos recibidos por los sentidos (vista, tacto, oído, olfato y gusto) para realizar con éxito dichas tareas.

La Teoría Computacional de Percepciones (CTP) se inspira en esta capacidad particular de actuar del ser humano que razona y actúa basándose en información obtenida por las percepciones. En particular, cuando se habla de percepciones, la forma de medir es a través de etiquetas, produciendo una división gradual entre las distintas categorías.

Según Zadeh [5] las percepciones son *f-granular*, lo que significa que los límites de las clases percibidas son imprecisos o borrosos. De esta forma, los valores de los atributos son granulados, con un gránulo representado por un grupo de

valores (puntos, objetos), agrupados mediante etiquetas por su semejanza, proximidad o función. Por ejemplo, los gránulos de una variable lingüística como la edad de una persona, podrían ser las etiquetas: *muy joven, joven, promedio, viejo, muy viejo*. La importancia de CTP deriva del hecho que, en gran parte, la toma de decisiones y el razonamiento común está basado en percepciones humanas.

Además, las percepciones pueden ser afectadas por el contexto del usuario. Por ejemplo hablar de una persona *joven* no tiene el mismo significado cuando se requiere de un gimnasta que cuando se necesita a un investigador. En esta propuesta se permite al usuario crear en su perfil las definiciones de las etiquetas de acuerdo a sus necesidades, con la ayuda de la CTP.

C. Aplicación Web Sensible al Contexto usando Bases de Datos Difusas

Según [12], una aplicación web sensible al contexto puede gestionar datos contextuales (los almacena, modifica y utiliza), los cuales pueden ser implícitos y explícitos. Éstos están asociados a un perfil de un usuario determinado, permitiendo tomarlos como insumos para que el cambio de su valor pueda afectar la entrada de datos o la salida de una consulta realizada ya sea en su semántica, en su resultado o en su presentación.

En la Figura 3, se puede observar el esquema propuesto para una aplicación sensible al contexto utilizando una base de datos difusa basada en la propuesta de [12].

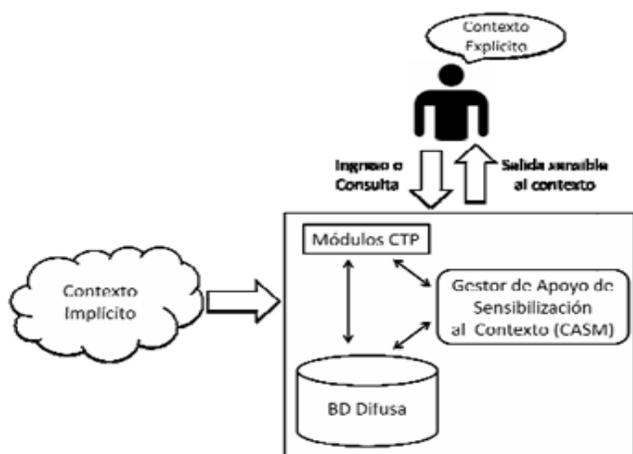


Figura 3: Esquema de una Aplicación Sensible al Contexto utilizando Bases de Datos Difusas

En este modelo los componentes son:

- Usuario, que interactúa con el sistema para poder establecer el contexto explícito: semántica, perfil, rol, estado (físico, emocional, social), actividad, situación y/o movilidad.
- Módulos CTP, corresponden a los módulos de almacenamiento y recuperación sensibles al contexto. Son traductores que se encargan de comunicarse con el gestor de apoyo de sensibilización al contexto (CASM) quien determina cómo éste afecta las entradas o salidas, antes de ser almacenadas o recuperadas de la base de datos. Su objetivo es hacer la transformación lingüística del lenguaje del usuario y los datos en bruto almacenados en la Base de Datos Difusa.

- Gestor de apoyo de sensibilización al contexto (CASM) es el encargado de gestionar el Catálogo Contextual, el histórico de las acciones del usuario y las reglas que permitan inferir el comportamiento de acuerdo al contexto. Este es el sistema experto que funciona como base de conocimiento para que los módulos CTP puedan hacer las transformaciones correspondientes.
- Base de Datos Difusa, que gestiona datos imperfectos siguiendo los postulados de la Teoría Computacional de Percepciones (CTP). Aquí se almacenan datos en bruto que luego serán procesados utilizando las reglas proporcionadas por el CASM para que los módulos CTP transformen el lenguaje con que interactúan los seres humanos.
- Contexto Explícito, es la información contextual proporcionada por el usuario o por alguna aplicación que se conecte al sistema. El usuario debe estar siempre identificado según los niveles de seguridad y privilegios. Es así que la primera información contextual explícita viene dada por la identificación del usuario. Otros aspectos considerados dentro del contexto explícito son: la semántica del usuario, su perfil y el rol que ejecuta el usuario.
- Contexto Implícito es la información contextual suministrada por sensores ambientales (como ubicación, tiempo, clima, aplicación, dispositivo, conexión) o agentes de software (servicios web) que infieren el contexto de acuerdo a la actividad o situación del usuario.

Este modelo fue utilizado como guía para el desarrollo de una aplicación web de escritorio y luego su interfaz móvil para el Examen Físico Articular de los pacientes del Laboratorio de Marcha del Hospital Ortopédico Infantil de Venezuela, lo cual se explica en más detalle en la Sección IV.

Debido a que este trabajo es una continuación de otras aportaciones desarrolladas, el diseño de la base de datos difusa y su implementación, así como el funcionamiento de los módulos CTP y CASM, son descritos con más detalle en [12][13][15].

III. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

El diagrama de componentes de la aplicación puede observarse en la Figura 4. Las herramientas tecnológicas que se utilizaron para el desarrollo de la aplicación web sensible al contexto usando bases de datos difusas y su interfaz móvil se describen en esta sección.

A. Aplicación Web

La aplicación Web fue desarrollada en el ambiente XAMPP [16] de fácil instalación y configuración, el cual utiliza el servidor Apache 2.2, donde funciona el sistema implementado en PHP. Para la elaboración de las páginas Web se usó el lenguaje marcado HTML5 [17].

En cuanto al diseño de la interfaz móvil se aprovecharon distintos componentes de *Bootstrap* [18], un *framework* de diseño de aplicaciones web para dispositivos móviles, el cual contiene componentes prediseñados que se adaptan al tamaño del dispositivo. En particular se usaron botones sensibles al tamaño de la pantalla, alertas predeterminadas para mantener la

coherencia, iconos para presentar las opciones disponibles al usuario, conjuntos de formularios para simplificar la obtención de información, entre otros. *Bootstrap* está especificado en HTML, CSS, LESS y Javascript.

B. Funcionalidades

Las funcionalidades fueron desarrolladas usando dos lenguajes: PHP, antes mencionado, y JavaScript. PHP [16] fue utilizado para las conexiones con la base de datos desde el sistema móvil y para el manejo de datos y consultas. JavaScript [19] se utilizó para la realización de calendarios, efectos visuales sencillos y para la elaboración de gráficas de los datos.

C. Base de Datos

El gestor de bases de datos utilizado fue Oracle, por su capacidad objeto relacional, lo que permite la definición de dominios difusos mediante un enfoque orientado a objetos, tal como se propone en [12]. Esta capacidad no es provista en su totalidad por el resto de los manejadores disponibles, en particular aquellos de uso libre. Oracle permite representar objetos complejos, extender tipos de datos nativos, variedad de métodos y es idónea para operar con otros lenguajes de programación además de SQL.

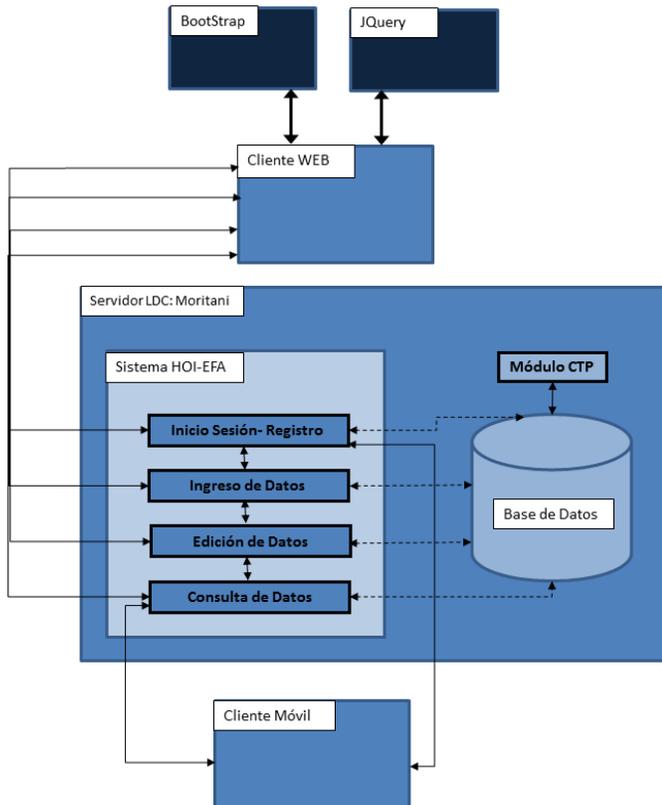


Figura 4: Diagrama de Componentes de la Aplicación

D. Documentación

El generador de documentación de PHP, PHPDoc [20], se utilizó para analizar el código fuente del sistema y producir una documentación navegable legible estilo un API (*Application Programming Interface*), útil para programadores que requieran continuar o mantener la aplicación.

IV. APLICACIÓN SENSIBLE AL CONTEXTO UTILIZANDO BASES DE DATOS DIFUSAS

Para el desarrollo de la aplicación sensible al contexto según el modelo propuesto en [13], se tomó como caso de estudio el examen físico articular [15] que se efectúa en el Laboratorio de Marcha del Hospital Ortopédico Infantil [21]. En una primera fase se construyó una aplicación web estándar para computadores de escritorio. En la segunda fase, se desarrolló la interfaz móvil para dicha aplicación.

A. Antecedentes

El Hospital Ortopédico Infantil (HOI) está ubicado en la Av. Andrés Bello de Caracas, Venezuela. Fue fundado el 20 de abril de 1945 con el objetivo de combatir las secuelas de la Poliomielitis y la invalidez. Es el principal referente de centros de ortopedias en el país y actualmente también presta atención de adultos. El HOI posee un Laboratorio en Marcha, el cual es un sistema de medición de tecnología avanzada que se utiliza para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del sistema locomotor y neuromuscular, como la parálisis cerebral [21].

Dado que el área médica es un ejemplo donde se utilizan términos o etiquetas que dependen de las percepciones del usuario, se propone desarrollar una aplicación web sensible al contexto utilizando bases de datos difusas que facilite el registro y actualización del Examen Físico Articular (EFA), el cual es realizado por el Laboratorio de Marcha del HOI. Para ello se analizaron los diferentes atributos que conforman el EFA [15].

En el EFA se utilizan etiquetas para los rangos articulares de los miembros inferiores (cadera, pie, rodilla, tobillo) tales como “dentro de los límites normales (DLN)” de acuerdo a la observación de un evaluador médico. Así mismo, el especialista utiliza etiquetas para el peso de una persona (*delgado, normal u obeso*) y la talla (*bajo, normal, alto*). Como resultado de este análisis inicial se obtuvo el diseño de una base de datos difusa, la cual incluía atributos que permitiría valores de datos imperfectos. Luego, se definieron etiquetas lingüísticas para atributos como el peso, los tonos musculares relacionados a las articulaciones de los miembros inferiores, el tipo de marcha, los dispositivos utilizados por un paciente (bastón, silla de ruedas, andaderas, muletas), entre otros.

Algunos atributos, como el peso, admiten tanto valores precisos (la medida exacta del mismo en gramos) o valores difusos que corresponden a las etiquetas definidas por el usuario (*delgado, normal, obeso*). Así, al momento que el usuario realice una consulta que involucre tales atributos, el valor en el resultado se obtiene por la asociación de las etiquetas y la semántica que da el usuario autenticado que las definió; o en su defecto, por etiquetas definidas por un usuario experto con sus valores por defecto.

Como objetivo de la aplicación web se propuso incorporar la sensibilización al contexto utilizando las facilidades proporcionadas por las Bases de Datos Difusas para etiquetas lingüísticas de acuerdo a la percepción de cada usuario. De esta forma se garantiza que al ingresar un nuevo usuario el sistema adapta sus funcionalidades según el contexto en que se encuentre.

En el sistema cada usuario podrá definir sus etiquetas personalizadas. Al cambiar de usuario, lo cual es considerado

por el sistema como un contexto diferente, se podrán manipular los datos de acuerdo a su propia definición. Así, se obtendrán respuestas diferentes a las consultas según la semántica definida por el usuario, aunque la base de datos mantenga los datos “brutos” almacenados. Esto podrá visualizarse en las próximas secciones mediante ejemplos.

Es de hacer notar que aunque el contexto para esta aplicación esté representado sólo por el cambio de usuario, mediante la utilización del modelo propuesto en [12] se pueden incluir otras variables que representen el contexto tanto explícito (rol de la persona u objetivos) como implícito (localización, clima, fecha y hora). Estos pueden ser considerados en otros dominios de aplicación.

ellos. La clase *DT_objtyp* corresponde al dominio difuso continuo. Las clases que se heredan de ésta son todos los posibles atributos con valores imperfectos que pueden ser representados por trapezoides (de la clase *Trapezoid_objtyp*) que tiene el examen físico articular, como por ejemplo, el peso y la talla.

Además se tiene la clase *dominio_t* la cual se utiliza para generalizar el dominio difuso categórico (*etiqueta_t*) y el discreto (*dominio_fijo_t*). Por último se define la clase *UserDef_Objtyp* que representa los usuarios que el sistema toma como contexto.

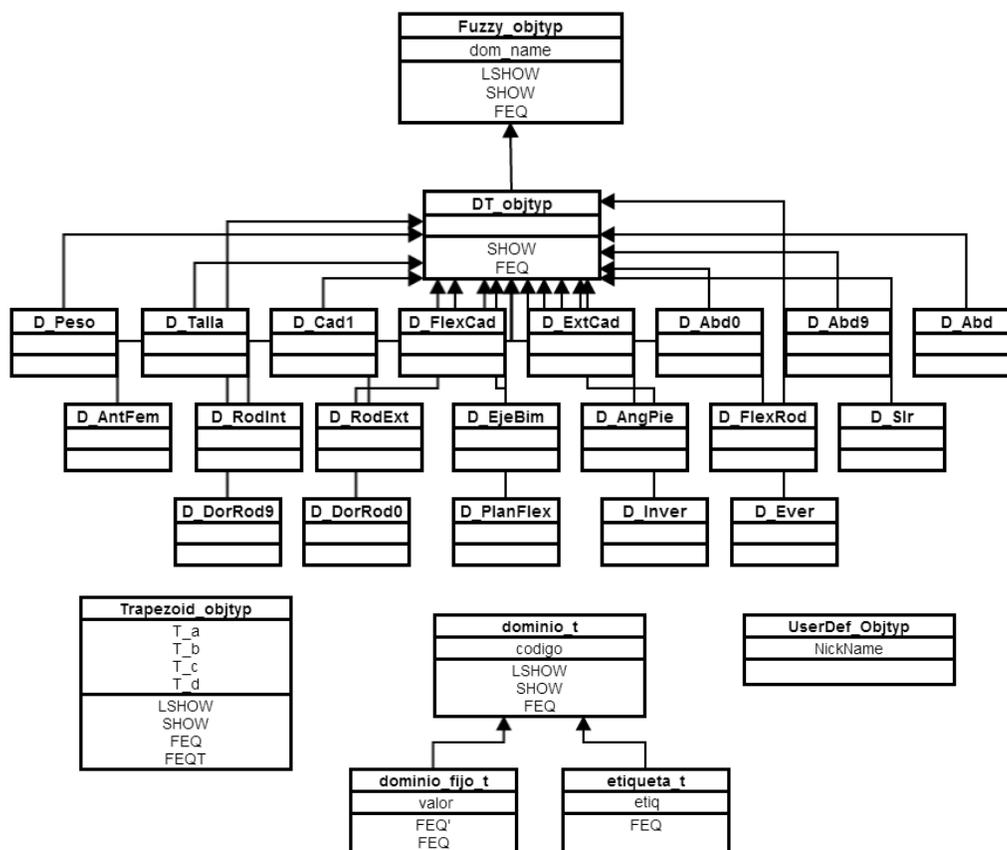


Figura 5: Diagrama de Clases de Dominios Difusos del EFA

B. Base de Datos Difusa

La base de datos del Examen Físico Articular (EFA) fue diseñada en un trabajo previo [15]. En este trabajo se extendieron los dominios difusos, luego de analizar los diferentes atributos del EFA que podrían tener valores imperfectos. En la Figura 5 se muestra el diagrama de clases que presenta los dominios difusos extendidos para incorporarlos como nuevos tipos de datos en la base de datos del EFA.

En un primer término aparece el tipo objeto difuso (*Fuzzy_objtyp*) que representa los dominios difusos. Esta clase posee los métodos LSHOW, SHOW y FEQ que permiten visualizar los valores difusos y realizar comparaciones entre

C. Interfaz Móvil

Para la adaptación del sistema web al ambiente móvil se tomaron en consideración los diversos obstáculos que presentan los dispositivos móviles, los cuales son mencionados en [22]:

- Tamaño de la pantalla: Estos dispositivos por lo general no ofrecen demasiado espacio para presentar información y opciones provistas por el sistema. Por ello, se seleccionó lo esencial de la aplicación web original, que debía presentarse al usuario en este entorno.
- Anchura y altura variables: Debido a la gran diversidad de dispositivos móviles con distintas dimensiones adaptados a todas las necesidades y gustos, fue necesario utilizar

herramientas que permitieran la creación de sitios webs y aplicaciones móviles adaptables al tamaño del dispositivo. Esta funcionalidad es provista por *Bootstrap*.

- Pantalla táctil: En un entorno móvil no se puede esperar la misma precisión que en un computador de escritorio donde se cuenta con un ratón o *touchpad*. Por ello, fue necesario diseñar botones que permitieran al usuario de un dispositivo pequeño poder observarlos y usarlos con facilidad.
- Dificultad de escritura: Por las razones mencionadas es deseable el usuario escriba lo menos posible. Para esto, se consideró en el diseño diversas facilidades que simplifican la realización de consultas e inserción de datos.
- Ambiente físico desafiante: La movilidad produce que el usuario pueda encontrarse en cualquier lugar, de manera que es necesario considerar aspectos como la iluminación, el ruido o el movimiento. Se eligieron colores que contrastan para facilitar la visibilidad en la mayor parte de las situaciones en la que se localice el usuario.

En la Figura 6 se pueden observar algunos elementos de la interfaz móvil. Los íconos en la parte superior corresponden al home, agregar paciente, agregar examen físico articular, consultar pacientes, eliminar registro de paciente y salir.

Cedula	Fecha Examen	Peso	Características de Marcha
30	12-FEB-12	.7	.4
22	24-JAN-14	.7	.4
24	01-JAN-14	1	.4

Figura 6: Resultado de la Consulta de Pacientes *Delgados* con *Marcha Normal*

D. Metodología

La metodología usada en el desarrollo fue la de Programación Extrema la cual es una disciplina del desarrollo de software basada en los valores de la comunicación, simplicidad y retroalimentación. Se fundamenta en una serie de reglas sencillas, con retroalimentación permanente, que permiten al equipo de trabajo medir los avances realizados y refinar sus prácticas para situaciones determinadas [23].

E. Funcionalidades Provistas

El diseño original contempló la posibilidad que el usuario pudiera interactuar de manera similar a la aplicación en ambiente de escritorio. El sistema en ambiente móvil incluye las funcionalidades que incorporan el contexto del usuario. Éstas se describen a continuación:

- Consulta de pacientes: inicialmente, la aplicación de escritorio sólo contempló la consulta por cédula de identidad. Dada la diversidad de lugares en los que el médico o fisioterapeuta pudiera encontrarse con poca información certera del paciente, se decidió aumentar esta funcionalidad agregando consultas por nombre o apellido. En éstas se utiliza la misma interfaz. La información desplegada del paciente se organizó en varias pantallas para evitar desplazamientos innecesarios al moverse en ella y permitir la posibilidad de visualizarla en su totalidad.
- Consulta general de pacientes: esta funcionalidad le permite al usuario realizar consultas difusas usando sus etiquetas lingüísticas, que han sido especificadas según sus preferencias. Estas preferencias fueron definidas previamente en la aplicación web. Por ejemplo, el médico puede solicitar los pacientes *delgados* con *marcha normal*, donde *delgado* y *normal* son etiquetas lingüísticas definidas por éste. Si el usuario no ha colocado sus preferencias se toman los valores por defecto, los cuales pueden ser modificados cuando el usuario desee. El resultado obtenido depende de las definiciones (ver Figura 6).
- Comparación entre pacientes: se da la posibilidad de consultas que retornen pacientes similares. Por ejemplo, obtener los pacientes que utilizan el mismo dispositivo de apoyo a su movilidad, que otro paciente dado. Debido a las limitaciones que presenta la pantalla de un dispositivo móvil se provee una respuesta con un máximo de ocho pacientes los cuales son ordenados por el grado de semejanza, de manera decreciente. Para esto se utiliza un “umbral” o valor en el intervalo $[0,1)$, definido por el usuario, que filtra los resultados con un grado de semejanza menor al deseado. De esta manera, se evita la sobrecarga de información poco relevante. En la Figura 7 se puede ver el resultado de una consulta que compara a María Pérez con los demás pacientes cuyo grado de semejanza es mayor a 0.3.

F. Consultas Sensibles al Contexto

Cada usuario puede definir una etiqueta normal para el peso de una persona. Así, una vez efectuado el examen físico articular, a pesar de que se almacena en la Base de Datos un dato que puede ser preciso (por ejemplo 85 Kg) las consultas pueden ser difusas de acuerdo a las etiquetas definidas.

En la Figura 8 se muestra el resultado de la consulta “pacientes con peso *normal*” efectuada por el “usuario 1”, mientras que en la Figura 9 se muestra el resultado de la misma consulta efectuada por el “usuario 2”. En el primer caso la paciente “Andreina Loriente” aparece en el resultado de la consulta con un valor de pertenencia de 0.5 y el paciente “Andrés Loriente” con un valor de pertenencia de 0.33. Son los pacientes cuyo peso igual a *normal* tienen un valor de pertenencia distinto de cero. En el segundo caso, también aparece “Andreina Loriente”, pero con un valor de pertenencia igual a 1, mientras que “Andrés Loriente” no aparece en el resultado de la consulta, esto indica que su valor de pertenencia es cero. En su lugar, aparece otro paciente “Verónica Hernández” con valor de pertenencia 0.33.

Fisioterapeuta: Doctor Who
Resultados de Maria Perez

Nombres	Apellidos	Cedula	Semejanza	Prom.Semej
Maria	Perez	20	1	1
Ana	Ramirez	26	.75	.75
Elena	Barreto	32	.75	.88
Gabriel	Marcano	23	.75	.88
Tatiana	Murillo	34	.75	.75

Umbral: 0.3

Figura 7: Resultado de una Comparación entre Pacientes

Nombres	Apellidos	Cedula	Id Historial	Fecha Examen	Peso
andreina	loriente	19380899	1	11-20-2012	.5
andres	loriente	19380900	3	11-20-2012	.33

Figura 8: Resultado de la Consulta “Pacientes con Peso Normal” para el “usuario1”

Nombres	Apellidos	Cedula	Id Historial	Fecha Examen	Peso
andreina	loriente	19380899	1	11-20-2012	1
veronica	hernandez	19380898	2	11-30-2012	.33

Figura 9: Resultado de la Consulta “Pacientes con Peso Normal” para el “usuario2”

En estas figuras, se puede notar claramente que los grados de pertenencia son distintos aunque se están accediendo a los mismos datos. Debido al hecho que cada doctor puede tener una interpretación diferente del peso normal de una persona, los resultados son distintos.

Otro ejemplo de la sensibilización al contexto es cuando el usuario puede realizar consultas por diferentes atributos difusos utilizando su propia semántica. En el resultado aparecerán las etiquetas definidas por los usuarios acompañados del grado de pertenencia del valor del atributo a dicha etiqueta (conjunto difuso). Esto puede observarse en las figuras 10 y 11.

Allí se muestran todos los EFA realizados a los pacientes en diferentes fechas, y los valores del peso y de la talla representados como conjuntos difusos. Cada etiqueta definida por el usuario viene acompañada de su grado de pertenencia.

Así por ejemplo, en la Figura 10, para el paciente “Jhosbert Abraham”, según la definición del “usuario 1” tiene un peso *Sano* con grado 1 y talla *Normal* con grado 0.33 en el EFA realizado el “10-jun-14”, mientras que el paciente “Andel” tiene peso *Flaco* con grado 0.44 y talla *Bajo* con grado 0.6. Si observamos la Figura 11, para el mismo paciente “Jhosbert

CI	Nombre	Fecha	Peso	Talla
19254844	Jhosbert Abraham	10-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	0/Bajo; 0/Alto ,33/Normal;
19254844	Jhosbert Abraham	08-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	0/Bajo; 0/Alto ,33/Normal;
20652525	Andel	08-jun-14	,44/Flaco; 0/Gordo 0/Sano;	,6/Bajo; 0/Alto ,33/Normal;
6368339	Jhon W	08-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo ,53/Sano;	0/Bajo; 1/Alto 0/Normal;
81291961	Carlos	18-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	0/Bajo; ,67/Alto 0/Normal;
3666968	Nancy	18-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	,6/Bajo; 0/Alto 0/Normal;
9517539	Alejandro	20-jun-14	0/Flaco; ,2/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; ,67/Alto 0/Normal;
19509671	Maria Isabel	12-jun-14	,2/Flaco; 0/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; ,67/Alto 0/Normal;
5528577	Aleida	18-jun-14	0/Flaco; 0/Gordo ,17/Sano;	0/Bajo; 0/Alto 1/Normal;
6271739	Emiro	18-jun-14	0/Flaco; ,5/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; ,67/Alto 1/Normal;
6271739	Emiro	08-feb-14	0/Flaco; 1/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; ,67/Alto 1/Normal;
20652525	Andel	05-DEC-12	1/Flaco; 0/Gordo 0/Sano;	,6/Bajo; 0/Alto ,33/Normal;
3666968	Nancy	11-DEC-99	1/Flaco; 0/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; 0/Alto ,8/Normal;
19509671	Maria Isabel	01-feb-00	1/Flaco; 0/Gordo 0/Sano;	0/Bajo; 0/Alto ,8/Normal;
81291961	Carlos	25-APR-13	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	0/Bajo; ,5/Alto 1/Normal;
9517539	Alejandro	16-nov-12	0/Flaco; 0/Gordo 1/Sano;	0/Bajo; ,4/Alto 1/Normal;

Figura 10: Consulta Difusa por Talla y Peso del Examen Físico Articular (EFA) de Pacientes del “usuario 1”

Abraham”, en la misma fecha “10-jun-14”, el resultado obtenido es diferente pues la definición del “usuario 2” considera otros valores y etiquetas. Este usuario define para el peso las etiquetas *Delgado*, *Normal* y *Obeso*, en lugar de *Flaco*, *Gordo* y *Sano*. Además, sus definiciones de los trapecios para estas etiquetas son diferentes pues los resultados no son los mismos. Para el “usuario 2”, tiene un peso *Normal* con grado 1 y talla *Normal* con grado 0.8, mientras que el paciente “Andel” tiene peso *Delgado* con grado 0.7 y *Normal* con grado 0.8, y talla *Bajo* con grado 0.8 y *Normal* con grado 0.2. Es aquí donde se refleja que los usuarios usan lenguajes diferentes.

La sensibilización al contexto se nota en que aunque la base de datos de EFA de pacientes es la misma, los conjuntos difusos obtenidos para el peso y la talla son diferentes. Esto se debe a las diferentes definiciones de etiquetas para las mismas variables lingüísticas del “usuario 1” con respecto al “usuario 2”. Por lo que al cambiar el usuario se cambia el contexto, y el sistema reconoce los diferentes lenguajes produciendo una salida personalizada de acuerdo a las definiciones de cada usuario.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como resultados principales de este trabajo se tiene la creación de la interfaz móvil para una aplicación web sensible al contexto utilizando bases de datos difusas. Su importancia radica en la posibilidad que varios usuarios, usando dispositivos móviles, puedan realizar la misma consulta simultáneamente en diversos lugares, a una base de datos difusa, donde la respuesta se adecue al contexto implícito y explícito de cada usuario.

En la aplicación web se definieron etiquetas lingüísticas para diferentes atributos del Examen Físico Articular (EFA) que eran factibles de ser tratados como difusos. Entre ellos están el peso, la talla, los tonos musculares, el tipo de marcha y los dispositivos utilizados por un paciente (bastón, silla de ruedas, andaderas, muletas), cuyas definiciones se adecuan a las preferencias de cada usuario. Esto permitió el manejo de la sensibilización al contexto en las consultas que accesan estos atributos, pues se producen resultados diferentes cuando las definiciones de los usuarios no coinciden. Adaptando así los resultados al contexto de cada usuario.

En la interfaz móvil se consideraron las diferentes características y/o limitaciones de estos dispositivos manteniendo la mayoría de las funcionalidades ofrecidas en la versión de escritorio. Sin embargo, hay funcionalidades como el registro de nuevos usuarios, que sólo pueden ser realizadas directamente en la aplicación web. Esto también muestra la adaptación al contexto.

La disposición de una interfaz móvil permite que cualquier médico, usuario de la aplicación, pueda realizar consultas al sistema dondequiera que se localice, obteniendo resultados distintos según sea su perfil (contexto explícito) y/o ambiente en que se ejecuta (contexto implícito). Esto incluye diferentes distribuciones, iconos, valores, cantidad de respuestas, entre otras. Adicionalmente, cuando un médico ingresa al sistema puede revisar su perfil e ingresar datos de nuevos pacientes y nuevos exámenes físico-articulares.

El uso de la lógica difusa como herramienta para especificar las consultas permite mayor expresividad y cercanía al lenguaje humano. Esto se logra con la definición de etiquetas lingüísticas adaptables al usuario, tales como *obeso*, *delgado*, *alto*, *bajo*, *atonía*, *normotonía*, cuyo uso es más intuitivo que expresarlos con valores precisos. Si bien cada etiqueta va de la mano de la percepción de la persona que la utiliza, existen estándares que se manejan en cuanto al cálculo común de expresiones referentes a tonos musculares, peso, forma de caminar, lo que hace que el aporte de la aplicación propuesta sea valorado en entornos médicos.

El desarrollo de esta aplicación implica un avance importante en relación al desarrollo de aplicaciones utilizando bases de datos difusas. En trabajos previos, se ha tenido que modificar el gestor de base de datos para lograr implementar consultas difusas (sin la representación de dominios difusos), lo cual dificulta el mantenimiento y produce incompatibilidad de versiones.

Por otro lado, el uso del modelo objeto relacional de Oracle, permitió la implementación del modelo de bases de datos difusas, con el apoyo de funciones y procedimientos almacenados, escritos en PL/SQL. Los cuales son fácilmente ejecutables, con pocas o casi ninguna modificación, en otras versiones del manejador.

En trabajos futuros se desea lograr la sensibilización al contexto basándose en datos capturados por sensores ambientales, tales como: ubicación del usuario, movilidad y clima.

AGRADECIMIENTOS

Hacemos un reconocimiento a Jhosbert Contreras apreciado alumno, y actual colega, que colaboró en la culminación de este trabajo en su Miniproyecto de Desarrollo de Software de la Universidad Simón Bolívar. “*Toda buena dádiva y todo don perfecto desciende de lo alto, del Padre de las luces, en el cual no hay mudanza, ni sombra de variación.*” (Santiago 1:17).

REFERENCIAS

- [1] K. A. Dey, *Understanding and Using Context*. Personal and Ubiquitous Computing, vol. 5, no. 1, February 2001.
- [2] B. Schilit, N. Adams, R. Want, *Context-Aware Computing Applications, Mobile Computing Systems and Applications*, in proceedings of WMCSA, Santa Cruz, USA, 1994.
- [3] J. Favela, A. I. Martínez-García, *Context-Aware Mobile Communication in Hospitals*, Computer 36, no. 9, pp. 38–46, 2003.
- [4] M.A. Vila, J.C. Cubero, J.M. Medina, O. Pons, *A Conceptual Approach for Dealing with Imprecision and Uncertainty in Object-based Data Models*, International Journal of Intelligent Systems, vol. 11, pp. 791–806, 1996.
- [5] L. A. Zadeh, *A New Direction in A.I. Toward a Computational Theory of Perceptions*, AI Magazine, vol. 22, no. 1, 2001.
- [6] G. Koutrika, *Personalized DBMS: an Elephant in Disguise or a Chameleon?*, Data Engineering, vol. 27, 2011.
- [7] P. Roocks, M. Endres, S. Mandl, W. Kiebling, *Composition and Efficient Evaluation of Context-Aware Preference Queries*, in proceedings of 17th Int. Conference DASFAA, Busan, South Korea, 2012.
- [8] L. A. Zadeh, *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol. 8, 1965.
- [9] J. T. Cadenas, *Una Contribución a la Interrogación Flexible de Bases de Datos: Optimización y Evaluación a Nivel Físico*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar, Venezuela, Febrero 2008.
- [10] L. Yan, Z. Ma, F. Zhang, *Fuzzy Sets and Fuzzy Database Models*, Fuzzy XML Data Management, pp. 31–81. Springer Berlin Heidelberg, 2014.

- [11] F. Berzal, N. Marín, O. Pons, M.A. Vila, *Managing Fuzziness on Conventional Object-Oriented Platforms*. International Journal Intelligent Systems, vol. 22, pp. 781–803, 2007.
- [12] J. T. Cadenas, N. Marín, M. A. Vila, *Fuzzy Domains with Adaptable Semantics in an Object-Relational DBMS*, Flexible Query Answering Systems; Lecture Notes in Computer Science, vol. 7022, pp. 497–508, 2011.
- [13] J. T. Cadenas, N. Marín, M. A. Vila, *Una Primera Aproximación a la Semántica Adaptable al Contexto en Bases de Datos Difusas*, en las memorias de las II Jornadas Andaluzas de Informática, Septiembre 2011.
- [14] L. Cuevas, *Modelo Difuso de Bases de Datos Objeto-Relacional: Propuesta de Implementación de Software Libre*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, España, Febrero 2009.
- [15] A. Aguilera, R. Rodríguez, *Representación y Manipulación de Datos Médicos en Marcha Patológica*, Multiciencias, vol. 11, no. 1, pp. 76–84, 2011.
- [16] APACHE FRIENDS, *XAMPP Apache + MySQL + PHP + Perl*, <http://www.apachefriends.org/index.html>.
- [17] W3C, *HTML & CSS*. <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>.
- [18] @MDO and @FAT, *The Most Popular Front-End Framework for Developing Responsive, Mobile First Projects on the Web*, Bootstrap, <http://getbootstrap.com>.
- [19] MDN, *JavaScript. Mozilla Developer Network*. <https://developer.mozilla.org/es/docs/JavaScript>.
- [20] PHP, *Learn about phpDocumentor, phpDocumentor*. <http://phpdoc.org/docs/latest/index.html>.
- [21] *Fundación Hospital Ortopédico Infantil*. <http://www.ortopedicoinfantil.org/hospital>.
- [22] J. Tidwell, *Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design*. O'Reilly, December 2010.
- [23] L. Lindstrom, R. Jeffries, *Extreme Programming and Agile Software Development Methodologies*, CRC Press LLC, 2003.