

Sistema Inteligente de Información Geográfica para las empresas eléctricas cubanas

Intelligent Geographic Information System for Cuban electric company

Nayi Sánchez Fleitas¹ Raúl Comas Rodríguez^{2*} María Matilde García Lorenzo³

Recibido 12 de julio de 2017, aceptado 3 de abril de 2018

Received: July 12, 2017 Accepted: April 3, 2018

RESUMEN

Las empresas eléctricas necesitan métodos eficaces de visualizar información. En la Unión Eléctrica en Cuba se trabaja en el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que cuente con una base conceptual y dé respuesta a las distintas peticiones del usuario. Para ello, el objetivo de la investigación es desarrollar un modelo para el manejo de datos geospaciales, con el uso de técnicas de Inteligencia Artificial, como soporte a la toma de decisiones en el sector eléctrico cubano. Como primer paso se elabora una ontología ligera que dote al sistema de la base conceptual. Para lograr las consultas automáticas se desarrolla un Sistema de Razonamiento Basado en Casos. La base de casos contiene la descripción de consultas estáticas realizadas previamente en forma de casos. Cada consulta se compone por once rasgos fundamentales derivados de la ingeniería del conocimiento realizada, de los cuales ocho son predictores y tres objetivos. La calidad final del SIG es verificada de acuerdo a los estándares de calidad de la norma ISO 9126:2002. Este sistema se aplica en todas las empresas eléctricas del país en las distintas áreas que inciden en los procesos de transmisión. Los resultados de la validación en campo evidencian la factibilidad de la propuesta.

Palabras clave: Sistema de información geográfica, sistemas basados en el conocimiento, ontologías.

ABSTRACT

Electric companies need effective methods to visualize information. The Electric Union in Cuba works on the development of a Geographic Information System (GIS) with a conceptual basis that responds to the different user requests. For this, the research objective is to develop a model for the management of geospatial data, with the use of artificial intelligence techniques, as support for decision making in the Cuban electric sector. As a first step, a lightweight ontology that endows a conceptual basis is elaborated. To achieve automatic queries, a Case-Based Reasoning System is developed. The case database contain the description of static queries previously made in the form of cases. Each query is made up of eleven fundamentals traits derived of the completed knowledge engineering performed, of which: eight are predictors and three are objectives. The final quality of the GIS is verified according to the quality standards of ISO 9126:2002 norm. The system is applied in all electric companies of the country in the different areas that affect the transmission processes. The results of field validation evidence the feasibility of the proposal.

Keywords: Geographic information system, knowledge based systems, ontology.

¹ Unidad Empresarial Aplicaciones de Redes. Avenida de los Mártires esq. Circunvalación, Sancti Spíritus. Cuba.
E-mail: nayi@atiss.une.cu

² Dirección de Investigación. Universidad Regional Autónoma de los Andes. Vía a Baños km 5 ½, Ambato. Tungurahua, Ecuador.
E-mail: raulcomasrodriguez@gmail.com

³ Departamento de Ciencias de la Computación. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera de Camajuaní km. 5 ½, Santa Clara. Villa Clara, Cuba. E-mail: mmgarcia@uclv.edu.cu

* Autor de correspondencia

INTRODUCCIÓN

La electricidad es una herramienta fundamental para la satisfacción de las necesidades humanas y aumentar el nivel de vida de la sociedad; su obtención requiere de una complicada infraestructura [1]. En este sentido, la energía eléctrica es un factor clave en el desarrollo económico. Lograr un servicio fiable y rentable es uno de los desafíos actuales [2-3] del sector eléctrico, en correspondencia con sus tres pilares de desarrollo: los procesos de generación, transmisión y distribución [4-5].

Por otro lado, para lograr mejoras económicas es necesario desarrollar un proceso de importantes transformaciones sobre la base de la eficiencia y la eficacia en los países [6]. En este sentido, el Sistema de Gestión Empresarial (SIGE) de la Unión Eléctrica (UNE) en Cuba se enfoca en la automatización de los procesos eléctricos [7]. El Sistema Integral de Gestión de Redes (SIGERE) y el Sistema Integral de Gestión de la Empresa de Construcciones de la Ingeniería Eléctrica (SIGECIE) son los principales subsistemas del SIGE. La función del SIGERE y el SIGECIE es recoger datos técnicos, económicos y de gestión para convertirlos en información. Los datos recopilados facilitan y mejoran la eficiencia en el análisis, planificación, operación, explotación y control de las redes eléctricas de distribución y transmisión. El SIGERE y el SIGECIE constituyen las bases de datos de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que forma parte del SIGE.

Un SIG es un sistema computacional que enlaza la información geográfica (¿dónde se encuentra un objeto?) con información descriptiva (¿qué son esos objetos?). Los SIG se utilizan para analizar y visualizar información espacio-temporal; entre sus características está la posibilidad de relacionar información en un contexto espacial y obtener detalles de sus relaciones para la toma de decisiones. Los primeros SIG se desarrollaron solo para la creación de mapas temáticos con la captura, almacenamiento y análisis de los datos geográficos [8-9]. El sector eléctrico actualmente utiliza los SIG en función de las necesidades de manejar sus recursos y su mapeo [10].

El desarrollo del SIG para la UNE en Cuba comienza en el 2001 con la primera versión llamada SIGOBE 1.0, que contaba con 220 opciones de búsqueda. En el estudio realizado, para la actualización del

proyecto SIGOBE, se analizaron los antecedentes de los SIG vinculados a la energía presentes en la literatura, y se reúne un grupo de expertos con experiencia del tema objeto de estudio, definiendo como carencias principales las siguientes [11]:

- Dificultades para identificar localizaciones geográficas donde se necesitan mejoras en los circuitos y acciones de mantenimientos.
- Dar respuestas a las diversas peticiones geográficas que requieren los especialistas.
- Satisfacer las expectativas de los especialistas en la recuperación de los mapas temáticos.

Existe un grupo de causas que provocan las carencias relacionadas anteriormente e impiden que los especialistas formulen peticiones geográficas como son:

- No están descritas las relaciones funcionales de los elementos del sistema eléctrico en la base de datos.
- Rudimentarios métodos de elaboración de las consultas geográficas.
- Falta de una integración entre las entidades geográficas que conforman la cartografía digital del sistema eléctrico.
- No existe una correspondencia semántica entre la base de datos del SIGOBE y la base de datos geográfica.
- Inexistencia de conceptos importantes para el sistema eléctrico dentro de la base datos.

En este sentido, el interés sobre los SIG ha aumentado producto a las necesidades de información actual [12]; y se han desarrollado técnicas y normas para lograr que todos tengan acceso a este tipo de datos [13]. Por otro lado, en un sistema de gestión empresarial es necesario estandarizar todos los aspectos, en especial, la construcción de la arquitectura del sistema [14]. Por tanto, el objetivo de la investigación es: desarrollar un modelo para el manejo de datos geoespaciales, con el uso de técnicas de Inteligencia Artificial, como soporte a la toma de decisiones en el sector eléctrico cubano.

ANÁLISIS TEÓRICO

Los SIG

Los SIG en el sector eléctrico se utilizan desde la década de los 90, como una continuación de los

Sistemas de Gestión de Instalaciones y Mapas (AM/FM, por sus siglas en inglés) [15] que, en adición al manejo de la conectividad entre instalaciones, representan la dependencia espacial de los datos, principalmente en el manejo de polígonos y áreas cerradas [16].

En este sentido, Sengupta analiza la integración AM/FM y SIG como una evolución apropiada para su uso en la organización (que se nombra AM/FM/GIS o simplemente GIS por las empresas que lo distribuyen). Algunas de las herramientas para el desarrollo de SIG comerciales son ArcGIS, MapInfo e Intergraph [17].

Por otro lado, por la diversidad de las fuentes de información que nutren los sistemas eléctricos se crea el Modelo de Información Común (CIM, por sus siglas en inglés) para facilitar la comunicación entre las diferentes aplicaciones. [7, 18]. El modelo es desarrollado originalmente por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) como marco para una integración denominada *Control Center Application Program Interface (CCAPI)* [19-20].

El CIM fue analizado y aprobado por el Comité Técnico 57 de la Comisión Electrotécnica Internacional para su conversión en: la norma ISO 61968:2003 “Integración de aplicaciones en utilidades eléctricas - Interfaces de sistema para gestión de distribución” y la norma ISO 61970:2005 “Interfaz de programación de aplicaciones para el sistema de gestión de energía (EMS-API)” [21].

Un SIG se puede definir como una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada [22].

Según Delgado un SIG está integrado por 5 componentes (Figura 1) [23]: organización y métodos, recursos humanos, datos, software y hardware.

Datos

Los SIG, como una representación de la realidad, necesitan ser digitalizados. Para almacenar la información en un mapa existen dos formas [25]:

Fuente: [24].



Figura 1. Componentes de un SIG.

- En capas vectoriales: donde la información se almacena a partir de líneas, puntos y polígonos.
- En imágenes ráster: que comprende una colección de celdas (píxeles) de una rejilla como un mapa o una Figura escaneada.

También es posible la combinación en un SIG de capas vectoriales y ráster,

En esta investigación se utiliza la forma de capas vectorial porque: reconoce los objetos geográficos y es más adecuada para la representación de mapas precisos y compactos. Adicionalmente, en el caso de los sistemas eléctricos, su representación es por medio de un esquema nodo-rama, donde las instalaciones se interconectan con tramos de líneas formando una red, nombrada monolineal (Figura 2). Es necesario reconocer que el trabajo con capas vectoriales es más complejo y costoso, pero se adapta a las necesidades de la presente investigación.

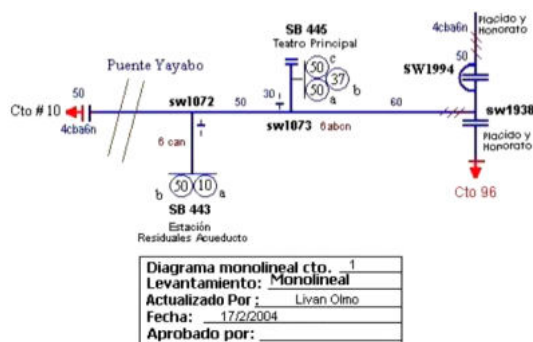


Figura 2. Fragmento de un monolineal.

Los elementos básicos de la red eléctrica se representan con la estructura del formato vectorial en puntos, líneas y polígonos. En la Tabla 1 se despliegan los elementos básicos según su representación.

En el SIGOBE se representa en el mapa solo los postes porque el resto de las estructuras eléctricas se encuentran situadas siempre en un mismo punto ya referenciado. De esta forma, se logra una independencia entre los datos tabulares y geográficos, y una actualización de los cambios de la red casi automática porque solo se modifica la cartografía en la adición o eliminación de un poste; el resto de los elementos se encuentran en las bases de datos.

Como parte del desarrollo del SIGOBE se realiza un proyecto piloto que ocupa un área inicial de 10.2 km² en escala 1:2000 de una ciudad y en escala 1:25000 para las zonas suburbanas. Las pruebas realizadas permiten definir el uso de las escalas siguientes:

- 1:2000 parcelada para el área urbana,
- 1:5000 asentamientos rurales,
- 1:25000 para las zonas suburbanas y
- 1:100 000 las provincias.

Los datos que aportan los módulos que componen el SIGERE y el SIGECIE están almacenados en una base de datos con una estructura compleja. La base de datos del SIGERE cuenta con 716 tablas, 1303 procedimientos almacenados y 74 funciones. El SIGERE funciona en computadoras interconectadas en una red local, las bases de datos se encuentran en las empresas provinciales que replican hacia las empresas municipales. La estructura diseñada ofrece al usuario la posibilidad de ver el estado real de la red eléctrica. Para acceder a la información de los elementos eléctricos, a los cuales hace referencia

el SIGOBE, se establece una conexión ODBC con la base de datos del SIGERE.

Las consultas que se realizan a la base de datos alcanzan generalmente un alto nivel de complejidad. Una acción de levantamiento de un banco de transformadores involucra nueve tablas con atributos de diferentes tipos. Adicionalmente, realizar una consulta sobre un tema requiere conocer la organización de la base de datos. El sistema tiene incorporado un alto número de consultas, pero no cubren las necesidades del cliente por la dinámica operacional del sistema electro-energético nacional en todos los países.

En el caso del SIGOBE, para el desarrollo de una consulta simple (E1), se realizan tres consultas al sistema (C1, C2, C3). En la Figura 3 se muestran los pasos para realizar el desarrollo de una consulta.

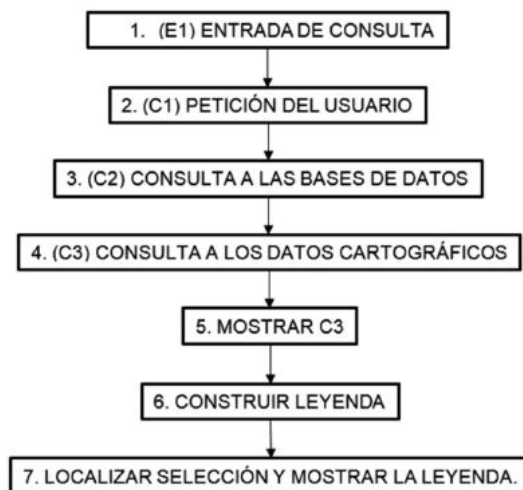


Figura 3. Pasos para una consulta desde el SIGOBE que relaciona las bases de datos SIGERE y SIGECIE.

Tabla 1. Representación de la red en esquema vectorial.

| Puntos (Puntos de Apoyo) | Líneas (Circuitos) | Polígonos (Subestaciones) |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Poste | Transmisión | Distribución |
| Banco de transformadores | Subtransmisión | Transmisión |
| Banco de capacitores | Primario | |
| Grupo generador | Secundario | |
| Desconectivo | Alumbrado | |
| Estructura | | |
| Luminaria | | |

Cuando una consulta tiene dos o más condiciones x_1, x_2, \dots, x_n , entonces $Q(x_1, x_2, \dots, x_n)$ aporta un conjunto solución de S. Si se descompone la consulta en n consultas sencillas $Q(x_i)$, que aportan n conjuntos solución S_1, S_2, \dots, S_n ; entonces, el conjunto solución corresponde a la unión, intersección o el producto cartesiano de estos conjuntos.

$$Q(x_1, x_2, \dots, x_n) = S \rightarrow Q(x_1) \text{ op } Q(x_2) \text{ op } \dots \text{ op } Q(x_n) = S$$

Donde:

$Q(x_n)$: consulta

x_1, x_2, \dots, x_n : condiciones

op: operador ($\cap / \cup / X$) de los conjuntos resultantes de las consultas

S: conjunto solución

Diseño de la ontología

Uno de los problemas detectados, en las investigaciones realizadas, son los derivados de la heterogeneidad e interoperabilidad de los datos [26]. Para su solución, una estrategia en la organización de la información, está asociado con el término “ontología” [27].

La palabra ontología se establece de un vocablo griego que significa “estudio del ser” [28]. La definición del término ontología ha evolucionado y es considerada como “una especificación formal y explícita de una conceptualización” [29].

Dentro de la informática el término ontología hace referencia a la formulación de un exhaustivo y riguroso esquema conceptual dentro de un dominio dado, con la finalidad de facilitar la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas [30].

Una ontología define los términos usados sobre: un área del conocimiento, las relaciones básicas entre ellos, las reglas para combinarlos y sus extensiones [31].

Adicionalmente, la tendencia actual en la integración de la información geoespacial usa como elemento fundamental la semántica. La integración semántica facilita un procesamiento y análisis de los datos de manera eficiente evitando problemas de compatibilidad.

En la literatura existen trabajos enfocados al desarrollo y uso de ontologías en SIG que ponen de manifiesto el interés científico en esta rama literatura [32-36],

disminuyendo así la brecha semántica existente en el entendimiento hombre-máquina [37]. En el 2013, Larín publica un enfoque de integración semántica de datos geoespaciales a bajo nivel de abstracción. El enfoque propuesto se basa en el uso de la Ontología de Representación de Datos (ORD) para la representación explícita de la naturaleza semántica de los geo-datos y las relaciones entre ellos; y posteriormente su vinculación con las diferentes Ontologías de Niveles Superiores (ONS) en dependencia del enfoque de integración semántica a alto nivel utilizado [36].

En el 2014, en correspondencia la evolución de las ontologías, Tolaba [38] propone la Meta-ontología geoespacial: Meta-ontology = {C, R, A, X, I}; una 5-tupla formada por un conjunto de: conceptos, relaciones, atributos, axiomas e instancias. La integración semántica facilita el procesamiento y análisis de los datos eficientemente evitando problemas de compatibilidad y disminuyendo la brecha existente en el entendimiento hombre-máquina [37].

Para la solución de los problemas del SIGOBE, como primer paso, se dota al sistema de una base conceptual con el desarrollo de una ontología ligera. En la conceptualización se incorporan los conceptos, con su taxonomía y relaciones (propiedades de objetos). Los demás componentes del modelo de la ontología (las propiedades de datos, instancias y axiomas) no se desarrollan porque la información está en la base de datos que nutre el sistema.

Los conceptos (clases) de la ontología son organizados taxonómicamente como se muestran en la Figura 4. El tipo de relación que forma el vínculo es el término “is a”. Los conceptos utilizados se dividen en dos grandes grupos: puramente geográficos y geográficos que pertenecen al sistema eléctrico.

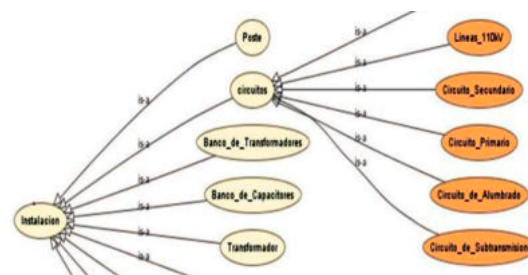


Figura 4. Esquema que representa los conceptos y taxonomía de la ontología.

En la ontología también se describen las relaciones o propiedades de los objetos (Object Properties). En la Figura 5 están las principales relaciones que se establecen entre los conceptos de la ontología.

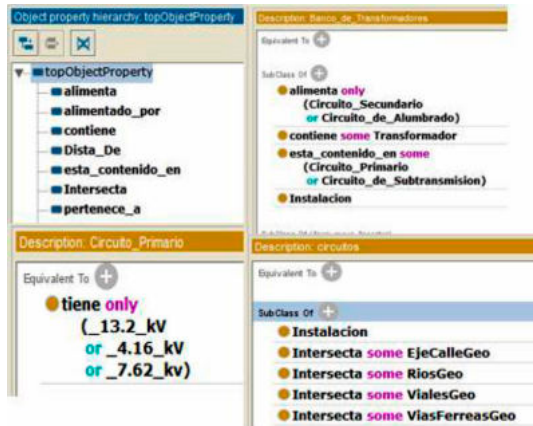


Figura 5. Esquema de relaciones de objetos que conforman la ontología de representación de conceptos y taxonomía.

Para capturar el conocimiento del dominio se incluye a la ontología la lógica descriptiva. La lógica descriptiva permite a partir del concepto y sus relaciones definir nuevos conceptos. Para la traducción de la ontología a la lógica descriptiva se utilizan las abreviaturas de los nombres (Tabla 2) y los operadores siguientes:

- ∩: Intersección de conceptos (representa “is a”)
- ∪: Union
- ¬: Negación
- ∃: Existe por
- ∀: Para todo

Tabla 2. Abreviaturas para la ontología.

| Concepto | Abreviatura |
|----------------------------------|-------------|
| Banco Transformadores | BT |
| Banco Capacitores | BC |
| Transformadores | T |
| Transformador Potencia | TP |
| Transformador Monofásico | TMon |
| Transformadores Bajo Aislamiento | Baj_Aislam |
| Circuito | Cto |
| Circuito Alumbrado | CtoA |
| Provincia | Prov |

Por ejemplo: $(T \cap TP \cap TMon) \rightarrow CtoA$ es un concepto que es interpretado como: Transformadores de potencia monofásicos que no tienen salida a circuitos de alumbrado.

El uso de la ontología y la lógica descriptiva permite el desarrollo de una base conceptual en el sistema y la solución a un problema. En un segundo momento de la investigación se trabaja en la elaboración de consultas automáticas.

El razonamiento basado en casos con el uso de la ontología

Tomando como premisa que problemas parecidos tendrán soluciones semejantes, se utiliza como herramienta el Razonamiento Basado en Casos (RBC). El RBC es un método de inteligencia artificial para solucionar problemas no estructurados, donde el razonamiento se realiza a partir de una memoria asociativa, que usa un algoritmo para determinar una medida de semejanza entre dos objetos. En los sistemas basados en casos el dominio no tiene que estar representado por completo [39] y el aprendizaje es progresivo [40].

Los RBC necesitan una colección de experiencias, denominadas casos, almacenadas en una base de casos (BC). Cada caso se compone generalmente de una descripción del problema y la solución que se aplica [41]. Para facilitar la recuperación de los casos en la base de casos, y establecer su organización, se define la información de cada caso y su representación [42-43].

Las ontologías se utilizan en aplicaciones de inteligencia artificial para promover el intercambio de información [44]. El papel fundamental de la ontología es estructurar y recuperar conocimiento, promover su intercambio, y favorecer la comunicación [45]. Según [46] el uso de ontologías en el razonamiento basado en casos aporta los beneficios siguientes:

- Es una herramienta fácil de usar para la representación de los casos.
- Las consultas se definen usando la terminología diaria.
- Facilita la evaluación de la similitud.
- Aumenta el rendimiento del sistema.

Para estructurar la base de casos se toma de base las 220 consultas previamente establecidas en el

SIGOBE y la premisa que problemas parecidos tendrán soluciones semejantes [47]. En bases a la información analizada, y tomando en cuenta la opinión de siete expertos (todos especialistas con experiencia en el trabajo del SIGE y los SIG) se determina la estructura del caso como se muestra en la Figura 6.

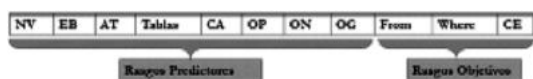


Figura 6. Rasgos de un caso.

En la Tabla 3 se muestra el universo de discurso de los rasgos predictores y objetivos de un caso.

En la presente investigación para la organización de la base de casos se utiliza una estructura jerárquica para el proceso de acceso y recuperación de los casos más similares en tiempo real [48]. Durante el estudio se realizaron 16 pruebas de estructuras estableciendo la relación calidad-complejidad del generador del recuperador (porcentaje de casos recuperados). Se alcanza el porcentaje de clasificación más alto con el porcentaje más bajo de casos recuperados con la estructura siguiente: NV, es el nodo raíz; en segundo nivel: EB y tercer nivel: OP (Figura 7).

Proceso de desarrollo del aprendizaje

En el proceso de desarrollo del aprendizaje, con la entrada de un nuevo problema, el motor de inferencia

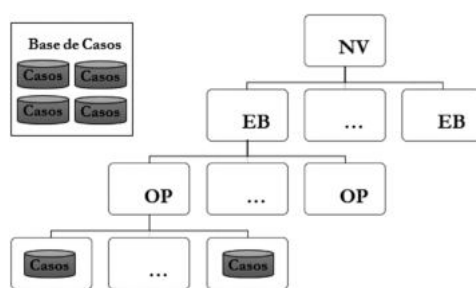


Figura 7. Estructura de la Base de Casos.

sigue el ciclo de las 4R [49-50] que tiene las etapas siguientes (Figura 8):

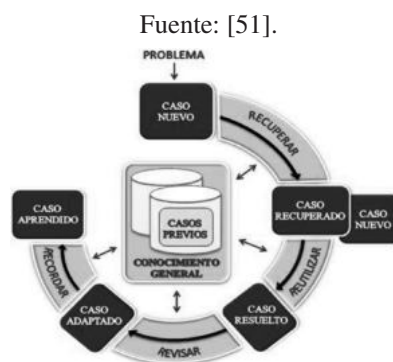


Figura 8. Ciclo Razonador Basado en Casos.

- Enviar el caso al Módulo Recuperador donde se recuperan (Retrieve) problemas o casos similares para enviarlos al Módulo Adaptador.

Tabla 3. Universo de discurso de los rasgos.

| Rasgo | Posibles valores | Tipo |
|---------------------------|---|------------------------|
| Rasgos predictores | | |
| NV | Secundario, Primario, Subtransmisión, Transmisión | simbólico y univaluado |
| EB | Estructuras Eléctricas (Postes, Bancos de transformadores, Bancos de capacitores, Luminarias, Subestación etc). | simbólico y univaluado |
| AT | Atributos que debe devolver la consulta (código, nombre, etc...) | Conjunto |
| Tablas | Tablas del SIGERE involucradas en la consulta | Conjunto |
| CA | Elemento a comparar (Atributo sobre el cual se realiza la comparación) | simbólico y univaluado |
| OP | Operador (\cup , \cap , \leq , \geq , $=$, etc) | simbólico y univaluado |
| ON | Ontología (lógica descriptiva)($T \cap TP \cap TM$ Monofásicos $\neg S$ Secundaria) | Ontología |
| OG | Restricción espacial (lógica descriptiva) | Ontología |
| Rasgos Objetivos | | |
| From | Devuelve el From de la consulta | Cadena |
| Where | Devuelve el Where de la consulta | Cadena |
| CE | Devuelve la consulta SIG | Cadena |

- El Módulo Adaptador para dar la solución óptima al problema, reutiliza (Reuse) las soluciones propuestas en los casos recuperados.
- Hallada una solución, se revisa (Revise) la propuesta y se almacena (Retain) en la base de casos con la descripción del problema, constituyendo un nuevo caso [51-53].

En el módulo recuperador la similitud entre dos casos está determinada por la suma ponderada de criterios de comparación de sus rasgos, la cual se calcula en función de su naturaleza. Los pesos de los atributos se calculan a partir del método de jerarquías analíticas (AHP). Se realiza una recuperación de los K casos más similares para obtener la solución inicial (SI). Se determina un valor de $K=3$ porque a medida que aumenta K, el porcentaje de soluciones generadas correctamente disminuye y complejiza el proceso de selección de la solución inicial.

La solución inicial es la entrada del módulo adaptador, el cual cuenta de cinco etapas:

1. Revisar: Se revisan los tres rasgos objetivos recuperados. Esta etapa produce requerimientos de adaptación que tendrán que ser solucionados en el resto de las etapas en caso de no ser válida la solución. Si la solución inicial para el problema es válida se termina.
2. Analizar: Se analiza la capacidad del sistema para la solución del problema y las reglas de adaptación que logran la solución.
3. Adaptar: Se aplican las reglas de adaptación sobre la solución inicial.
4. Devolver: Se devuelve la solución adaptada como respuesta al usuario.
5. Retener: Se retiene el caso como un nuevo caso aprendido si este pudiera simplificar el proceso de adaptación dado un problema similar.

RESULTADOS

El SIGOBE tiene carácter nacional y es aplicable a las distintas áreas que dividen las empresas eléctricas. Brinda un grupo de facilidades como: localizar las quejas de la población, una instalación fallida o con parámetros anormales, organizar el recorrido de los carros, visualizar los voltajes de los clientes en el mapa, hacer un estudio de fallas de equipamiento por zonas, optimizar el uso de las redes y una expansión óptima de ellas, a determinadas escalas

permite dibujar el croquis de los nuevos proyectos con la exactitud necesaria.

Con el desarrollo de la ontología se logra mayor eficacia en el software. Para la implementación del RBC se desarrolló dentro del SIGOBE el módulo SICUNE (Sistema Inteligente de Consulta para la UNE) que utiliza la analogía transformacional sobre consultas previamente hechas, recuperadas por un razonador basado en casos, para dar respuesta a interrogantes del usuario. Durante este proceso el sistema utiliza las facilidades del API Jxl de Java para manipular la base de casos. En la Figura 9 se muestra la pantalla principal del SIG con una búsqueda realizada.

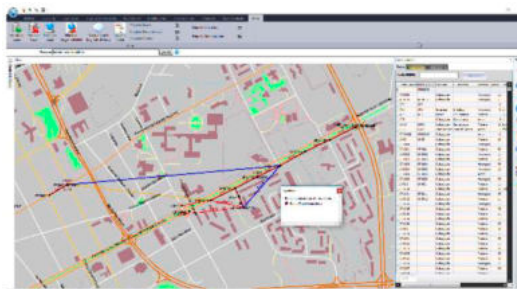


Figura 9. Pantalla del SIGOBE.

El SIGOBE puede considerarse como un sistema de apoyo a la toma de decisiones porque cumple las características siguientes:

- Está enfocado al análisis de los datos operacionales de las empresas eléctricas cubanas.
- Realiza informes dinámicos, flexibles e interactivos, en correspondencia con las necesidades de las áreas decisoras en las empresas eléctricas.
- No se requiere conocimientos técnicos para la realización de consultas al SIGOBE.
- Presenta rapidez en el tiempo de respuesta.
- Tiene disponibilidad de información histórica, gestionadas en las bases de datos del SIGERE y el SIGECIE por más de 15 años.
- Está presente las principales áreas de administración del conocimiento en las empresas eléctricas que necesitan modelado gráfico.

El módulo SICUNE fue aplicado como experimento en tres áreas operativas de una empresa eléctrica provincial, que utilizan información de múltiples

bases de datos, con alto cubrimiento de información eléctrica. Para la validación se utilizó el módulo por el período de 3 meses y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de SICUNE por área.

| Consultas | Área 1 | Área 2 | Área 3 |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| Total | 230 | 189 | 147 |
| Clasificadas correctamente | 221 | 178 | 140 |
| Mal | 9 | 11 | 7 |
| Retenidas | 23 | 40 | 18 |
| Efectividad | 96,08% | 94,18 | 95,23 |

En la Figura 10 se muestran los resultados generales de la aplicación del SICUNE. Como resultados del experimento, se logró una efectividad del 95,23%, donde se clasificaron correctamente 539 búsquedas del total de consultas. En el estudio fueron retenidos 81 nuevos casos para un total de 301 en la base de casos. La etapa de retención de casos se encuentra en fase preliminar y se trabaja en su incremento.



Figura 10. Resultados de pruebas de experimento.

Por otra parte, para la evaluación de la calidad de software se utilizó el modelo de evaluación de [54] basado en la norma ISO-9126:2002, que caracteriza un sistema informático. La ISO-9126:2002 es un estándar internacional oficial, aprobado y validado, que establece métricas para la evaluación de la calidad de sistemas informáticos con el uso de: seis atributos de calidad externa e interna, y cuatro atributos de calidad de uso.

La Tabla 5 refleja el resultado obtenido por la valoración de cinco especialistas principales de departamentos técnicos de la Empresa Eléctrica involucrados en el experimento. Ellos otorgan pesos, de 1 a 10, a cada uno de los atributos de calidad,

se calcula la media de los valores obtenidos y se suman los resultados. Cada uno de los atributos se refleja en base al 10% según el estándar aplicado.

Tabla 5. Evaluación de los atributos de Calidad de Software.

| Atributos de calidad externa e interna (At) | |
|---|-------------|
| • Funcionalidad | 10,0 |
| • Confiabilidad | 10,0 |
| • Usabilidad | 10,0 |
| • Eficiencia | 10,0 |
| • Capacidad de mantenimiento | 10,0 |
| • Portabilidad | 8,0 |
| • Subtotal | 58,0 |
| Atributos de calidad en uso (Au) | |
| • Eficacia | 9,0 |
| • Productividad | 10,0 |
| • Satisfacción | 10,0 |
| • Seguridad | 9,5 |
| • Subtotal | 38,5 |
| • Total General | 96,5 |

Al concluir el proceso de evaluación en cada uno de los indicadores se obtiene como resultado que el sistema cumple a un 96,5% los indicadores. En la investigación los atributos evaluados sobre calidad externa e interna obtienen un valor de 10 en sus parámetros, exceptuando la portabilidad que alcanza un 8. Los atributos que evalúan la calidad de uso: la productividad y la satisfacción obtienen un 10, eficacia un 9 y seguridad un 9,5%.

CONCLUSIONES

El sistema inteligente de información geográfica propuesto, se le incorporó una base conceptual, a partir de una ontología, para los procesos de distribución y transmisión de la energía eléctrica en Cuba.

Se organizó una base de casos, a partir de la consulta a un grupo de expertos, estructurado por ocho rasgos predictores y tres rasgos objetivos, bajo la premisa que problemas parecidos tendrán soluciones semejantes.

El proceso de aprendizaje del razonamiento basado en casos se realiza de forma paulatina con la entrada

de un nuevo problema; a partir del ciclo de las 4R, donde se recuperan los problemas similares de la base de casos en busca de una solución al problema.

Los resultados arrojados por la validación de campo del sistema inteligente de consultas en tiempo real para la UNE evidencian la factibilidad de la propuesta en un 95,23% donde, de 566 consultas realizadas, 539 son clasificadas correctamente y se retienen 81 nuevos casos para la base de conocimiento.

La evaluación de la calidad del software, basado en la norma ISO-9126:2002 para caracterizar sistemas informáticos, da una efectividad de un 96,5%; y los resultados arrojados por la validación en campo evidencia la factibilidad de la propuesta.

El sistema inteligente de consultas en tiempo real para la UNE puede ser adaptable a cualquier empresa eléctrica al cambiar los valores de los campos de la base de casos, en correspondencia con las bases de datos que manejan.

REFERENCIAS

- [1] G.C. Ibarra Ruiz. “Aplicaciones del sistema de información geo referenciado en el Ecuador”. *Revista Científica Yachana*. Vol. 2 N° 2, pp. 279-282. 2013. ISSN: 1390-7778.
- [2] R. Sen and S.C. Bhattacharyya. “Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: An application of HOMER”. *Renewable Energy*. Vol. 62, pp. 388-398. 2014. ISSN: 0960-1481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.028>
- [3] M.A. Arango y S. Arroyave. “Análisis de combustibles fósiles en el mercado de generación de energía eléctrica en Colombia: un contraste entre modelos de volatilidad”. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. Vol. 22, pp. 190-215. 2016. ISSN: 1886-516X.
- [4] A.G. Peralta Sevilla y F.O. Amaya Fernández. “Evolución de las redes eléctricas hacia Smart Grid en países de la Región Andina”. *Revista Educación en Ingeniería*. Vol. 8 N° 15, pp. 48-61. 2013. ISSN: 1900-8260. DOI: <http://dx.doi.org/10.26507/rei.v8n15.285>
- [5] T.A. Short. “Electric Power Distribution Handbook”. CRC Press LLC. Florida. 2004. ISBN: 9781466598652.
- [6] R. Comas Rodríguez, D. Nogueira Rivera y A. Medina León. “El control de gestión y los sistemas de información: propuesta de herramientas de apoyo”. *Ingeniería Industrial*. Vol. XXXV N° 2, pp. 214-228. 2014. ISSN: 1815-5936.
- [7] R. Fernández Álvarez. “Informatización de la Gestión de las Redes Eléctricas”. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara. 2011.
- [8] E. Torregroza Fuentes, A. Gómez Juan y F. Borja Barrera. “Aplicación del Sistema de Información Geográfico Quantum Gis en la regionalización ecológica de la cuenca Ciénaga De La Virgen (Cartagena De Indias-Colombia)”. *Journal of Investigation and Praxis in Computer Science*. Vol. 2 N° 1, pp. 1-13. 2014. ISSN: 2387-0893.
- [9] E. Garea Llano. “Estado actual de la interpretación semántica de datos espaciales”. *Blue Series. Pattern Recognition. RNPS* N° 2142. 2007. ISSN: 2072-6287.
- [10] R. Sanhueza Hormazábal y M. Estrada Ramírez. “Integración de un sistema de información geográfica en la planificación y gestión de los sistemas de distribución eléctrica”. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. Vol. 22 N° 1, pp. 6-13. 2014. ISSN: 0718-3305. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000100002>
- [11] N. Sánchez Fleitas, T. Rodríguez Alvarado, M. M. García Lorenzo y A. Riverol Quesada. “Medidas de similitud para los componentes de la ontología de la Unión Eléctrica”. XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016. La Habana, Cuba.
- [12] A. Yusoff, S. Abdullah and N.M. Din. “A Taxonomy on Knowledge-based Geographical Information System (GIS) for a Cloud-based Disaster Management Environment”. The 3rd National Graduate Conference (NatGrad2015). Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus.
- [13] F.A. Carrera Calderón y M.Á. Martínez Vargas. “La accesibilidad web en el proyecto de infraestructura de datos espaciales - GTIDE CEDIA”. *UNIANDÉS EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Vol. 3 N° 3. 2016. ISSN: 1390-9150.

- [14] N. Silega Martínez, D. Macías Hernández, Y. Matos y J.P. Febles. "Framework basado en MDA y ontologías para la representación y validación de modelos de componentes". *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. Vol. 8, pp. 102-116. 2014. ISSN: 2227-1899.
- [15] A. Loai Alí, O. Hegazy and M. Nour Eldien. "Slum prediction using integration between GIS and ANN". *The 7th International Conference on Informatics and Systems (INFOS)*. Cairo, Egipto. 28-30 de marzo de 2010.
- [16] M. Nour Eldien, A. Loai Alí and O. Hegazy. "A Framework for integration between Artificial Neural Network & Geographical Information System, Slum prediction as the case study". *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*. Vol. 10 N° 1, pp. 20-27. 2010. ISSN: 2227-2739.
- [17] R. Sengupta. "GIS Enhance Automated Mapping/Facilities Management". *GIS development: Asia Pacific*. Vol. 10 N° 8, pp. 50. 2006.
- [18] L.O. Osterlund, K. Hunter, K. Demaree, M. Goodrich, A. McMorran, B. Iverson and T. Kostic. "Under the Hood: An Overview of the Common Information Model Data Exchanges". *IEEE Power and Energy Magazine*. Vol. 4 N° 1, pp. 68-82. 2016. ISSN: 1540-7977 DOI: 10.1109/MPE.2015.2485859
- [19] X. Wang, N.N. Schulz and S. Neumann. "CIM Extensions to Electrical Distribution and CIM XML for the IEEE Radial Test Feeders". *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol. 18 N° 3, pp. 1021-1028. 2003. ISSN: 1558-0679. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.814857
- [20] Z. Wang, D.E. Julian, M. Bass and W. Peterson. "Interpreting GIS data for operation and control of distribution networks". *Power Systems Conference and Exposition*. New York, USA. 10-13 de octubre de 2004.
- [21] M. Uslar, M. Specht, S. Rohjans, J. Trefke and J.M. González. "The Common Information Model CIM IEC 61968/61970 and 62325 - A Practical Introduction to the CIM". Springer. Berlín, Alemania. 2012. ISBN: 978-3-642-25215-0.
- [22] ESRI. "Utility GIS-More Than Just AM/FM". 2003.
- [23] T. Delgado. "La Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, avances y perspectivas". *Novena Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para América*. Nueva York, EUA. 10 al 14 de agosto de 2009
- [24] T. Delgado. "La Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba, avances y perspectivas". *Noveno Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para América*. Nueva York, EUA.
- [25] S. Faiz and S. Krichen. "Geographical Information Systems and Spatial Optimization". CRC Press Taylor & Francis Group. 2013. ISBN: 978-1-4665-7748-0.
- [26] N. Machado García, L. González Ruiz y C. Balmaseda Espinosa. "Recuperación de objetos geoespaciales utilizando medidas de similitud semántica". *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. Vol. 8 N° 2, pp. 132-143. 2014. ISSN: 1994-1536.
- [27] R.P. Smiraglia. "Domain Analysis for Knowledge Organization Tools for Ontology Extraction". Elsevier Ltd. Waltham, EU. 2015. ISBN: 978-0-08-100150-9.
- [28] J.L.C. De La Peña. "Evolución histórica del Pensamiento". *Visión Libros*. Madrid. 2013. ISBN: 978-84-9011-959-4.
- [29] T.R. Gruber. "A translation approach to portable ontologies". *Knowledge acquisitions*. Padova, Italy. Vol. 5. 1993.
- [30] E.G.L. and R.L. Fonseca. "Combination of Spatial Analysis Methods and Semantics Extraction in a SDI Environment for Agro-ecological Zonation". *12th AGILE International Conference on Geographic Information Science* Leibniz Universität Hannover, Germany.
- [31] D.d.l.C. Rivero Hernández, J. Vila Labrada y M. Rivero Hernández. "Ontologías. Integración De Esquemas". *Tlatemoani*. Vol. 17. 2014. ISSN: 1989-9300.
- [32] U. Visser. "Intelligent Information Integration for the Semantic Web". Springer Science & Business Media. Berlin. 2004. ISBN: 3-540-22993-0.
- [33] M. Kavouras, M. Kokla and E. Tomai. "Comparing categories among geographic ontologies". *Computers & Geosciences*. Vol. 31 N° 2, pp. 145-154. 2005. ISSN: 0098-3004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.07.010>
- [34] A. Sotnykova, C. Vangenot, N. Cullot, N. Bennacer and M. Aufaure. "Semantic

- mappings in description logics for spatio-temporal database schema integration”. *Journal on Data Semantics III. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 3534, pp. 143-167. 2005. ISSN: 0302-9743. DOI: 10.1007/11496168_7
- [35] F.T. Fonseca and M.J. Egenhofer. “Ontology-driven geographic information systems”. 7th ACM international Symposium on Advances in geographic information systems. Kansas City, Missouri, USA. Noviembre de 1999.
- [36] R. Larín Fonseca y E. Garea Llano. “Enfoque de integración semántica de datos geoespaciales a bajo nivel de abstracción”. *Informática* 2013. La Habana, Cuba.
- [37] R. Larín Fonseca. “Nuevo tipo de ontología para la representación semántica de objetos geoespaciales”. Tesis Doctoral. Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada. CENATAV, Instituto Técnico Militar “José Martí”. La Habana. 2012.
- [38] A.C. Tolaba, M.L. Caliusco y M.R. Galli. “Representación del Conocimiento de la Información Geográfica siguiendo un Enfoque basado en Ontologías”. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. Vol. 14, pp. 101-116. 2014. ISSN: 1646-9895. DOI: <http://dx.doi.org/10.17013/risti.14.101-116>
- [39] S. Beibel. “Ontologiegestütztes Case-Based Reasoning: Entwicklung und Beurteilung semantischer Ähnlichkeitsindikatoren für die Wiederverwendung natürlichsprachlich repräsentierten Projektwissens”. Springer. Ilustrada ed. Berlin. 2011. ISBN: 9783834962324.
- [40] T. Fitzgerald, K. McGregor, B. Akgun, A. Thomaz and A. Goel. “Visual Case Retrieval for Interpreting Skill Demonstrations”. 23rd International Conference, ICCBR 2015. Frankfurt am Main, Germany. 28-30 de septiembre de 2015.
- [41] P. Chazara, S. Negny and L. Montastruc. “Flexible knowledge representation and new similarity measure: Application on case based reasoning for waste treatment”. *Expert systems with applications*. Vol. 58 N° 1, pp. 143-154. 2016. ISSN: 0957-4174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.03.014>
- [42] N. Martínez Sánchez, M.M. García Lorenzo y Z.Z. García Valdivia. “Modelo para diseñar sistemas de enseñanza-aprendizaje inteligentes utilizando el razonamiento basado en casos”. *Avances en Sistemas e Informática*. Vol. 6 N° 3, pp. 67-78. 2009. ISSN: 1657-7663.
- [43] Y. Reyes González, A. Claro Arceo, N. Martínez Sánchez y A. Hernández Domínguez. “Agrupamiento conceptual lógico combinatorio: una alternativa para la toma de decisiones”. *Inteligencia Artificial*. Vol. 19 N° 57, pp. 82-96. 2016. ISSN: 1988-3064. DOI: 10.4114/ia.v18i56.1142
- [44] H. Wimmer and R. Rada. “Good versus bad knowledge: Ontology guided evolutionary algorithms”. *Expert systems with applications*. Vol. 42 N° 21, pp. 8039-8051. 2015. ISSN: 0957-4174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.064>
- [45] E. Myrghiote, N. Bassiliades and A. Miliou. “Bridging the HASM: An OWL ontology for modeling the information pathways in haptic interfaces software”. *Expert systems with applications*. Vol. 40 N° 4, pp. 1358-1371. 2013. ISSN: 0957-4174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.053>
- [46] A. Bouhana, A. Zidi, A. Fekih, H. Chabchoub and M. Abed. “An ontology-based CBR approach for personalized itinerary search systems for sustainable urban freight transport”. *Expert systems with applications*. Vol. 42 N° 7, pp. 3724-3741. 2015. ISSN: 0957-4174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.012>
- [47] G. Rodríguez, L. Berdún, Á. Soria, A. Amandí y M. Campo. “Análisis de Métricas de Similitud en Razonamiento Basado en Casos para Administrar Proyectos”. *ASAI 2015, 16° Simposio Argentino de Inteligencia Artificial*.
- [48] A. Riverol Quesada, N. Sánchez Fleitas, T. Rodríguez Alvarado y M.M. García Lorenzo. “Sistema inteligente para la toma de decisiones utilizando un enfoque basado en casos”. *XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016*. La Habana, Cuba.
- [49] Y.K. Ortiz Chow, P. Bañuelos Aguilar y J. Rodas Osollo. “Razonamiento basado en casos (RBC)”. *CULCyT*. N° 58. 2016. ISSN: 2007-0411.
- [50] K. Leung, K. Choy, M. Tam, C. Lam, C. Lee and S.W. Cheng. “A hybrid RFID case-

- based system for handling air cargo storage location assignment operations in distribution centers”. Management of Engineering and Technology (PICMET), 2015 Portland International Conference.
- [51] D. Cordero Morales, Y. Ruiz Constanten y Y. Torres Rubio. “Sistema de Razonamiento Basado en Casos para la identificación de riesgos de software”. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. Vol. 7 N° 2, pp. 222-239. 2013. ISSN: 2227-1899.
- [52] M.d.l.Á. Martín. “Memoria Organizacional Basada en Ontologías y Casos para un Sistema de Recomendación en Aseguramiento de Calidad”. Tesis Doctoral. Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software (GIDIS), Universidad Nacional de La Plata - Argentina. La Plata, Argentina. 2010.
- [53] A. Aamodt and E. Plaza. “Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches”. AI Commun. IOS Press. Vol. 7 N° 1, pp. 39-59. 1994.
- [54] Y. Macías Rivero, M.V. Guzmán Sánchez y Y. Martínez Suárez. “Modelo de evaluación para software que emplean indicadores métricos en la vigilancia científico-tecnológica”. ACIMED. Vol. 20 N° 6, pp. 125-140. 2009. ISSN: 1024-9435.