

Aspectos a considerar en la construcción de un sistema experto para evaluación de calidad ambiental

Aspects to consider in the construction of an expert system for environmental quality assessment

Aspectos a serem considerados na construção de um sistema especialista para avaliação da qualidade ambiental.

Erika Alarcón-Ruiz¹ ID. 0000-0003-1375-3442

René Bernardo Elías Cabrera-Cruz^{1*} ID. 0000-0003-4436-4845

Julio César Rolón-Aguilar¹ ID. 0000-0002-3700-3796

Elena María Otazo-Sánchez² ID. 0000-0001-9324-8926

Ricardo Pérez-Avilés³ ID. 0000-0002-2143-5543

Salvador W. Nava-Díaz¹ ID. 0000-0003-1664-4719

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Centro Universitario Tampico-Madero. C.P. 89318. Tel. +52 833 2412000 ext 3541.

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Químicas.

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Instituto de Ciencias.

*Autor de correspondencia: rcabreracruz@yahoo.com.mx

Recibido: 12/01/2015

Revisado: 24/03/2015

Aprobado: 25/05/2015

Publicado: 27/06/2015

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de los aspectos a considerar en el diseño de una metodología para el desarrollo de un Sistema Experto para Evaluación de Calidad Ambiental. Existen diferentes modelos de análisis de calidad ambiental, pero hay que destacar que la mayoría de estos métodos fueron elaborados para proyectos concretos, lo que deriva en que una generalización sea complicada. Para modelar la arquitectura del sistema computacional, deben tenerse presente variables que la técnica ERFCA maneja. Estas variables deben ser representadas por datos estructurados de manera significativa, deben ser fácilmente utilizables e integrables en el proceso de estudio, deben ser fáciles de obtener, que permitan de manera precisa modelar el funcionamiento de la técnica y con un alto grado de fiabilidad. De la interacción de los sistemas ambientales y los sistemas computacionales surge la informática ambiental que integra las tecnologías de información y la sustentabilidad ambiental contribuyendo a la conservación del medioambiente, generando nuevo conocimiento y fomentando la difusión y divulgación del conocimiento científico favoreciendo un cambio en los hábitos y comportamientos de los ciudadanos en beneficio de nuestro entorno.

Palabras clave: Sistemas Expertos, Calidad Ambiental, Informática Ambiental, sistema de expertos, contaminación

Abstract

This study analyzes aspects to consider in design of a methodology for development of an Expert System for Evaluation of Environmental Quality [ESEEQ]. There are different models for analyzing environmental quality, but it is noteworthy that most of these methods were developed for specific projects and may be complicated to generalize their uses. Modelling architecture of the computer system is based on ERFCA technical variables. These variables must be represented by significantly structured data, easily usable, and must be integrated into the process and must be readily available, allowing an accurately technical model of with a high degree of reliability. Interaction of environmental systems and computer systems that integrates environmental computer information technologies, and environmental sustainability focused on contribute to environmental conservation, could generate new knowledge. This model promotes diffusion and dissemination of scientific knowledge favoring a change in habits arising, and behaviors of citizens in order to benefit our environment.

Keywords: Expert Systems, Environmental Quality, Environmental Informatics, expert system, pollution

Resumo

Este artigo apresenta uma análise dos aspectos a serem considerados no projeto de uma metodologia para o desenvolvimento de um Sistema Especialista para Avaliação da Qualidade Ambiental. Embora existam diversos modelos de análise da qualidade ambiental, é importante notar que a maioria desses métodos foi desenvolvida para projetos específicos, dificultando a generalização. Para modelar a arquitetura do sistema computacional, as variáveis manipuladas pela técnica ERFCA devem ser consideradas. Essas variáveis devem ser representadas por dados estruturados de forma significativa, ser facilmente utilizáveis e integráveis ao processo de estudo, ser fáceis de obter, permitir a modelagem precisa da operação da técnica e apresentar um alto grau de confiabilidade. A informática ambiental surge da interação entre sistemas ambientais e computacionais. Ela integra tecnologias da informação e sustentabilidade ambiental, contribuindo para a conservação ambiental, gerando novos conhecimentos e promovendo a disseminação e o alcance do conhecimento científico, fomentando, assim, uma mudança nos hábitos e comportamentos dos cidadãos em benefício do nosso meio ambiente.

Palavras-chave: Sistemas Especialistas, Qualidade Ambiental, Informática Ambiental, sistema especialista, poluição

Introducción

Los sistemas expertos han sido abordados por los investigadores del área de inteligencia artificial desde mediados de los 60's y según la técnica utilizada estos se agrupan en las siguientes categorías: sistemas basados en reglas, sistemas basados en conocimiento, redes neuronales, sistemas difusos, razonamiento basado en casos y agentes inteligentes, a partir de los cuales se han desarrollado una serie de aplicaciones para resolver problemas específicos de diferentes áreas de conocimiento. En la tabla 1 se presenta una relación de las metodologías empleadas y algunas aplicaciones importantes. Como se puede observar, existe una tendencia hacia resolver problemas ambientales a partir de una arquitectura de sistemas expertos.

Este tipo de aplicaciones tienen una mayor aceptación en la sociedad en la que estamos inmersos. Gracias a los avances de la tecnología se pueden desarrollar sistemas más confiables permitiendo realizar una toma de decisiones de manera más efectiva.

Objetivo

En este trabajo se presenta un análisis de los aspectos a considerar en el diseño de una metodología para el desarrollo de un Sistema Experto para Evaluación de Calidad Ambiental.

Materiales y métodos

El enfoque de sistemas implica pensar en términos de elementos y sus relaciones, así como su funcionamiento, interacción y regulación (Gómez Orea, 2002). En un sistema los elementos se encuentran interrelacionados entre sí y limitados por una frontera que lo divide de su entorno. Entre más interacción exista con su entorno el sistema se convierte en un sistema abierto, en caso contrario se convierte en un sistema cerrado. Al existir un cambio en el entorno, éste afecta al sistema según su capacidad de adaptación, que será la base de su supervivencia. Cada sistema se divide en subsistemas que tienen una función propia, por lo que es importante analizar las entradas y salidas visualizando a cada subsistema y al sistema principal como una caja negra.

Como se puede observar en la figura 1, existen sistemas abstractos y sistemas físicos. El ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes (Galindo Leal y Cárdenas, 2012).

El Medio ambiente es el conjunto de factores físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, carácter, comportamiento y supervivencia (Fernández-Vitora, 2010), y en un tiempo determinado (Hernández Muñoz, Hernández Lehman, y Gordillo Martínez, 2006).

Desde el punto de vista holístico, en la tabla 2 se listan las funciones principales que se llevan a cabo en el medioambiente y que favorecen su conservación.

Estas funciones tienen procesos que se interrelacionan entre sí y con el ser humano, por lo que podemos entender al medioambiente en base a tres subsistemas: fuente de recursos naturales, soporte de actividades, receptor de efluentes y residuos (Fernández-Vitora, 2010).

La fuente de recursos ambientales permiten al hombre subsistir naturalmente, su valor y utilidad se mide en función de cuatro variables:

$$R_1=f(C_1, Q_1, t_1, S_1)$$

R=Valor del recurso, C=Cantidad del recurso, Q=Calidad del recurso

t= Tiempo de disponibilidad, S=Espacio ocupado

Los recursos naturales pueden ser afectados a partir de las actividades que el hombre realiza. La capacidad de carga se da en función de la actividad humana en el medio, en términos de aptitud y uso potencial, por lo que es importante ordenar y clasificar en función de su capacidad de carga los múltiples usos derivados de la actividad humana (tipos de industrias, hospitales, vertederos, actividades recreativas, etc.). Además, cada actividad tiene un impacto directamente relacionado con la salud y el ambiente, por lo que es imprescindible medirlo.

Los efluentes y residuos resultantes de una actividad no deben exceder los límites de la capacidad de asimilación del medioambiente con el que interactúa. Esta capacidad se refiere a la capacidad que tiene el ambiente de procesar química y biológicamente los efluentes que son agregados a éste transformándolos en elementos no perjudiciales.

Por otro lado, un factor ambiental es un medio o subsistema del ambiente con una dinámica y procesos propios al que se le asigna un conjunto de indicadores que le permitan evaluar la calidad del mismo. La calidad del ambiente será el resultado obtenido de la suma del conjunto de calidades de los factores ambientales relevantes y su evolución (Martin, 2007), (Hernández Muñoz, Hernández Lehman, y Gordillo Martínez, 2006).

Tabla 1. Metodologías empleadas en la construcción de los Sistemas Expertos

METODOLOGÍA	APLICACIÓN	AUTORES
Sistemas basados en reglas	Nanotecnología Bioquímica	(Wasiewicz, Mulawka, y Plucienniczak, 2000)
	Diagnóstico probabilístico de defectos	(Leung y Romagnoli, 2000)
	Planificación de tareas	(Croce, Fazzini, Massucco, Morini, Silvestro, y Sivieri, 2001)
	Asesor de diagnóstico Agrícola, aplicultura	(Mahaman B. , Passam, Sideridis, y Yialouris, 2003) (Plant y Vayssieres, 2000)
	Ciencias de la Tierra	(Soh, Tsatsoulis, Gineris, y Bertoia, 2004)
	Control de sensor	(Valenzuela, Bentley, y Lorenz, 2004)
Sistemas basados en el conocimiento	Sistema de Tutoría	(HatzilygeroudisJ y J, 2004) (Hatzilygeroudis y Prentzas, 2004)
	Protección ambiental	(Gomolka y Orłowski, 2000)
	Tratamiento de aguas residuales	(Baeza, Ferreira, y Laufuente, 2000)
	Procesos químicos	(Barrera-Cortes, Astruc, y Tufeu, 2001) (Saunders, Pascoe, Johnson, Pilling, y Jenkin, 2003)
	Planificación de la terapia física	(Tunez, Aguila, y Marin, 2001)
	Control del proceso de planta	(Acosta, Gonzalez, y Pulido, 2001) (Liu y Schulz, 2002)
	Protección de la transmisión de energía	(Orduna, Garces, y Handschschin, 2003)
	Planificación de la producción de cultivos	(Edrees, Rafea, Fathy, y Yahia, 2003) (Cohen y Shoshany, 2002)
	Diseño urbano	(Xirogiannis, Stefanou, y Glykas, 2004)
Redes neuronales	Diagnóstico de errores	(Wang, Qu, Liu, y Cheng, 2004) (Yang, Han, kim, Yu, B, y H, 2004)
	Diagnóstico Señal acústica	(Li, Tasi, Tasi, y Chiu, 2004)
	Destilación del petróleo crudo	(Liau, Yang, y Tasi, 2004)
Sistemas difusos	Diagnóstico de fallos	(Lee, Park, Ahn, Park, Park, y Venkata, 2000) (El-Shal y Morris, 2000)
	Clasificación de sistema de potencia	(Dash, Mishra, Salama, y Liew, 2000)
	Evaluación de demanda	(Benson y Asgapoor, 2000)
	Tratamiento de aguas residuales	(Carrasco, Rodriguez, Punal, Roca, y Lema, 2004) (Punal, Rodriguez, Franco, Carrasco, Roca, y Lema, 2001)
	Selección de datos en la web	(Wong y Hamouda, A fuzzy logic based expert system for machinability data-on-demandon the internet., 2002) (Wong y Hamouda, The development of an online knowledge-based expert system for machinability data selection., 2003)
	Previsión de abastecimiento de agua	(Mahabir, Hicks, y FayeK, 2003)
	Clasificación Radiográfica	(Liao T. , 2003)
	Sistema de consulta médica	(Boegl, Adlassnig, Hayashi, Rothenfluh, y Leitich, 2004) (Meesad y Yeen, 2003)

	Búsqueda de trabajo	(Drigs, Kouremenos, Vrettos, y Kouremenos, 2004)
Razonamiento basado en casos	Inspección ultrasónica	(Jarmulak, Kerckhoffs, y Veen, 2001)
	Planificación médica	(Abidi y Manickam, 2002) (Montani y Bellazzi, 2002) (Martin-Baramera, Sancho, y Sanz, 2000)
	Clasificación de la hiperplasia endometrial	(Morrison, McCliggage, Price, Diamond, Sheeran, y Mulholland, 2002)
Agentes Inteligentes	Aplicación militar	(Liao S. , 2001)
	Simulador de Entrenamiento	(Lopez, Flores, y Garcia, 2003)
	Sistemas de tutoría	(Cruces, Arriaga, y Arriaga, 2000)
	Cadena de suministro	(Gjerdrum, Shah, y Papageorgiou, 2001)
	Análisis y diseño de sistema	(Gruer, Hilaire, Koukam, y Cetnarowicz, 2002)
	Mantenimiento de los servicios electrónicos	(Yu, lung, y Panetto, 2003)
	Control de la contaminación del aire	(Zhou, Huang, y Chan, 2004)
	Diseño de la arquitectura del edificio	(Alibaba y Ozdeniz, 2004)
	Apoyo a las decisiones agrícolas	(Thomson y Willoughby, 2004)
	Evaluación del paisaje	(Martinez-bejar, Ibanez-Cruz, Compton, y Cao, 2001)
Interpretación Roca sedimentaria	(Abel, Silva, Ros, Mastella, y Campbell, 2004)	
Sistema experto Médico	(Yan, Jiang, Zheng, Fu, Xiao, y Peng, 2004)	

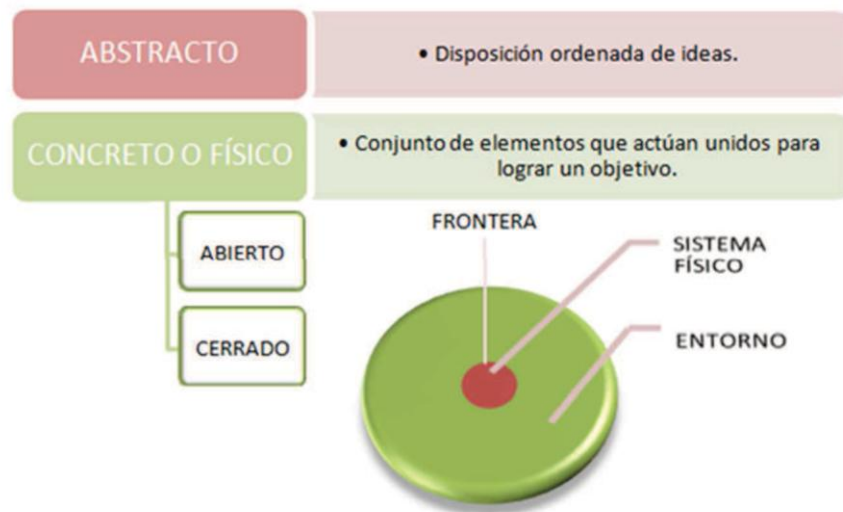


Figura 1. Tipos de Sistemas.

Existen diferentes modelos de análisis de calidad ambiental, pero hay que destacar que la mayoría de estos métodos fueron elaborados para proyectos concretos, resultando por ello su complicada generalización.

Por lo tanto, El proceso de identificar los atributos y relaciones para un sistema que evalué la calidad ambiental es una tarea compleja (Leff, 2003) debido a que existen diversos factores que inciden en el deterioro de la calidad ambiental, como se mencionó anteriormente, los fluidos contaminantes ambientales son un subsistema que influye de manera significativa en la calidad ambiental (Gómez Orea, 2002) por lo que es necesario la estructuración de los inventarios de generación de contaminantes por tipo de fuente de contaminación, tipo de medio receptor, sector industrial y no industrial y zona de estudio. A partir de este

inventario, se debe cuantificar los efluentes y residuos y para esto se debe seleccionar la técnica adecuada. Dentro de estas técnicas se encuentran los métodos indirectos permiten realizar estimación de calidad ambiental como son sistemas de listas de control, matrices de acción/factor, diagramas de redes o sistemas elaborados de pre-valoración.

La técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental, [ERFCA] (Weitzenfeld 1989) y su modificación por Econopoulous en 2002 para fuentes de contaminación de aire permite la realización de inventarios de fuentes contaminantes y sus resultados son obtenidos mediante el empleo de indicadores de estado de calidad ambiental tipo Batelle, que establecen criterios de valoración y una estimación de contaminación generada en fun-

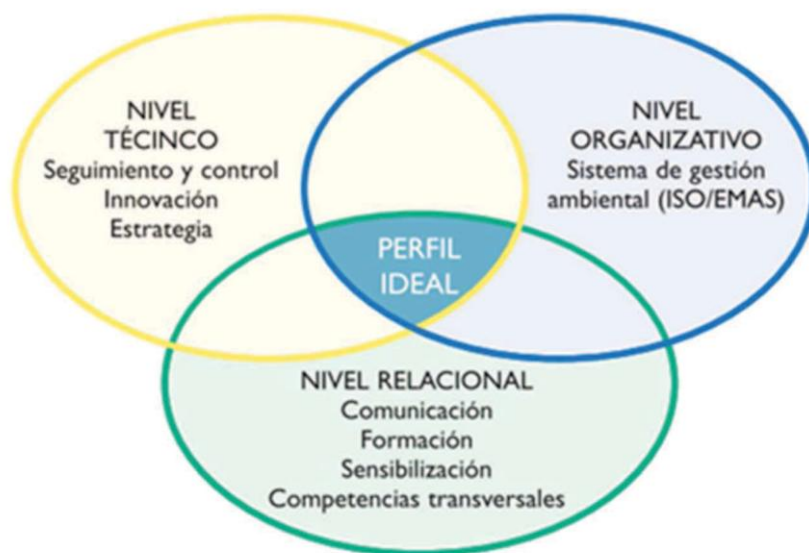


Figura 2. Competencias requeridas en el especialista humano

Tabla 2. Funciones principales del medioambiente. Fuente: (Fernández-Vitora, 2010)

Producción	
Natural	Biomasa, minerales, agua, luz, calor, ...
Agraria	Productos agrícolas, forestales, pecuarios, acuícolas
Soporte de Actividades	
Agrarias	
Urbanas	
Industriales y mineras	
Servicios y recreativas	
Educación, cultura, ciencia e investigación	
Monumentos y demás patrimonio artístico	
Infraestructuras de comunicación	Autopista, ferrocarriles,
Transporte energético	Eléctrico, gasoductos, oleoductos
Transporte de agua	Canales, acequias, acueductos
Recepción	
Natural	Restos de biomasa, agua, cenizas y lavas volcánicas
Antropogénica	Emisiones a la atmósfera, vertidos acuáticos y al suelo, residuos
Regulación	
Atmosférica	Térmica, acústica, ionizante.
Hidrosférica	Evaporación, absorción.
Edafológica	Génesis, morfológica, erosión, sedimentación

Biótica

Biosanitaria, plaguicida

Descontaminante

Purificación, filtración, absorción

ción a la producción de bienes o servicios de las diferentes fuentes generadoras de contaminación. La técnica utiliza datos disponibles de los sectores público, social y privado, destacando las fuentes más importantes de generación que tienen un impacto significativo en el entorno.

La metodología descrita para la técnica ERFCA es la siguiente:

- Definición del área de estudio.
- Conformación del grupo de trabajo.
- Recolección de datos para el sector industrial.
- Recolección de datos para el sector no industrial.
- Cálculos.
- Organización de resultados.
- Determinación de indicadores de calidad ambiental.

Para modelar la arquitectura del sistema computacional, deben tenerse presente las siguientes consideraciones respecto a la naturaleza de la información o variables que la técnica ERFCA maneja. Estas variables deben ser representadas por datos estructurados de manera significativa,

deben ser fácilmente utilizables e integrables en el proceso de estudio, deben ser fáciles de obtener, que permitan de manera precisa modelar el funcionamiento de la técnica y con un alto grado de fiabilidad. En la tabla 3 se muestra la metodología de ciclo de vida para el desarrollo del sistema señalando los resultados esperados en cada etapa.

La inteligencia Artificial [IA] estudia los procesos simbólicos, razonamientos no algorítmicos y representaciones simbólicas del conocimiento. Dentro de los sistemas de representación del conocimiento se encuentran los sistemas expertos, estos sistemas emulan la capacidad de un especialista humano para resolver un problema y debe poseer las siguientes características.

- Resolver el problema que se le plantea de la misma manera que el experto humano.
- Trabajar con datos incompletos o información insegura
- Explicar el resultado obtenido
- Aprender conocimientos nuevos sobre la marcha
- Reestructurar los conocimientos de que dispone en

Tabla 3. Metodología del ciclo de vida del sistema ERFCA

Etapa	Resultados
Especificación de requisitos	Catálogo de requisitos del sistema que recogerá: - Los objetivos del sistema - Los requisitos de almacenamiento de información - La definición de actores - Los requisitos funcionales - Los requisitos de interacción - Los requisitos no funcionales
Análisis	Documento de análisis del sistema que recogerá: - El modelo de clases del sistema - El modelo de navegación - Los prototipos de interfaz
Diseño	Documento de diseño del sistema que recogerá: - La arquitectura abstracta del sistema - La división del sistema en subsistemas - El diseño de los casos de uso - El modelo de clases de diseño - Modelo de clases navegacionales
Implementación	Programa ejecutable Manual de usuario Pruebas Plan de pruebas

- función de datos nuevos
- Saltarse las normas, cuando se llega a la conclusión de que éstas no son aplicables a nuestro caso concreto.

Un actor importante dentro del desarrollo del sistema experto para evaluación de calidad ambiental es el **especialista** humano. En la figura 2. se muestran las competencias (Ambiental, 2000) que debe reunir y dentro de los conocimientos teóricos se encuentran: aguas residuales, emisiones al aire, control de energía, control de ruidos y

olores, legislación ambiental, calidad ambiental y la técnica ERFCA.

Por otro lado, debido a la importancia de las respuestas que el sistema debe generar, es importante considerar que el sistema cubra las características descritas en la figura 3, donde se señala que el sistema debe ser confiable y comprensible, es decir que se puedan explicar los pasos de su razonamiento.

En la figura 4. se puede observar la arquitectura del sistema experto que evalúa la calidad ambiental a partir de la técnica ERFCA. Los actores principales son el usuario,



Figura 3. Características de un Sistema Experto

Tabla 4. Elementos a considerar en la implementación del Sistema Experto de Calidad Ambiental

P L A N E A C I Ó N	DEFINICIÓN DEL CONOCIMIENTO		DISEÑO DEL CONOCIMIENTO		Implementación	VERIFICACIÓN DE CONOCIMIENTO		EVALUACIÓN DEL SISTEMA
	Análisis de las técnicas por métodos indirectos	Análisis de la Técnica ER-FCA	Estructuración del inventario de contaminantes	Diseño detallado		Prueba formal	Análisis de las pruebas	

CICLO DE VIDA DEL SOFTWARE, MODELO EN CASCADA

- Análisis y definición de requerimientos
- Diseño del sistema y del software
- Implementación y prueba de unidades
- Integración y prueba del sistema
- Funcionamiento y mantenimiento

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES, ERFCA

- Definición del área de estudio.
- Conformación del grupo de trabajo.
- Recolección de datos para el sector industrial.
- Recolección de datos para el sector no industrial.
- Cálculos.
- Organización de resultados.
- Determinación de indicadores de calidad ambiental.

REQUERIMIENTOS COMPUTACIONALES, SISTEMA EXPERTO

- Interfaz de Usuario.
- Módulo Explicación.
- Módulo de Memoria Activa.
- Módulo de Inferencia.
- Agenda.
- Módulo para la adquisición del conocimiento.

el especialista ambiental y el ingeniero de conocimiento.

Usuario: Personas y grupos que se encuentran directa-

mente relacionados con la problemática ambiental, tales como funcionarios locales, estatales y federales, organizaciones ambientales, activistas comunitarios, negocios y corporaciones ambientales. Además de todas las personas y grupos afectados directamente por la calidad ambiental como:

- Aquellos cuyo negocio sea la calidad medioambiental o el estudio del medio ambiente.
- Biólogos de la vida silvestre, botánicos, y otros científicos de la vida, guardabosques, hidrólogos, profesionales de la salud pública, etc.
- Gente que usa el ambiente natural para recreación y apoyo espiritual.
- Arquitectos y urbanizadores conscientes del medio ambiente.
- Cualquier persona que esté consciente de los efectos de la calidad ambiental.

Especialista ambiental: Posee la capacidad de interpretar los impactos de la actividad humana en el medio ambiente. Especialista en la técnica ERFCA.

Ingeniero del conocimiento: Codifica explícitamente el conocimiento utilizando las metodologías de la ingeniería en sistemas y las tecnologías de información. Ingeniero de software con conocimientos en aplicaciones web, bases de datos, sistemas de información geográfica principalmente.

De la revisión de los sistemas expertos (Giarratano y Riley, 2001) se observa que éstos han sido utilizados con una amplia gama de aplicaciones, los cuales se han clasificado en las siguientes categorías.

- Configuración: Ensambla correctamente los componentes apropiados del sistema.
- Diagnóstico: Inferir los problemas subyacentes basándose en la evidencia observada.
- Instrucción: Enseñanza inteligente.
- Interpretación: Explicar los datos observados.
- Supervisión: Comparar los datos observados con los esperados para juzgar su desempeño.



Figura 4. Arquitectura del Sistema Experto. Fuente Propia

- Planeación: Idear acciones para obtener el resultado deseado.
- Pronóstico: Predecir el resultado de una situación dada.
- Remedio: Prescribir tratamiento para un problema.
- Control: Regular un proceso (involucra las categorías anteriores)

Cada una de las aplicaciones anteriormente descritas, requiere de una modelación particular del conocimiento, por lo que se debe de establecer los alcances del sistema al momento de diseñar a nivel de componentes. De la arquitectura descrita en la figura 4. se detallan los componentes que serán considerados en la implementación del sistema los cuales se describen a continuación:

Interfaz de Usuario: Módulo que permite al usuario interactuar con el sistema experto.

Módulo Explicación: Explica al usuario el razonamiento del sistema.

Módulo de Memoria Activa: Una base de datos global de los hechos usados por las reglas.

Módulo de Inferencia: Decide qué reglas satisfacen los hechos, ejecuta las reglas en función de su prioridad.

Agenda: Almacena las reglas y sus prioridades asignadas por el módulo de inferencia cuyo patrón satisface los hechos que se encuentran en la memoria activa.

Módulo para la adquisición del conocimiento: Permite al usuario introducir conocimientos al sistema sin la necesidad de que el ingeniero de conocimiento codifique éste de forma explícita.

Resultados

Una vez analizado el enfoque ambiental y de computación como sistema así como la metodología de la técnica ERFCA y de los sistemas expertos respectivamente y apoyados en un modelo de ingeniería de software (véase figura 4), se definen los aspectos que se deben de considerar en la implementación del sistema, los cuales se resumen en la tabla 4.

Conclusiones

La ingeniería de sistemas es una actividad interdisciplinaria que conjunta equipos de personas con diferentes bases de conocimiento (véase figura 4). De la interacción de los sistemas ambientales y los sistemas computacionales surge la informática ambiental que integra las tecnologías de información y la sustentabilidad ambiental contribuyendo a la conservación del medioambiente, generando nuevo conocimiento y fomentando la difusión y divulgación del conocimiento científico favoreciendo un cambio en los hábitos y comportamientos de los ciudadanos en beneficio de nuestro entorno.

Referencias

- Abacoumkin, C., y Ballis, A. (2004). Development of an expert system for the evaluation of conventional and innovative technologies in the intermodal transport area. *European Journal of Operational Research* , 152,410-419.
- Abel, M., Silva, A., Ros, L., Mastella, L., y Campbell, J. (2004). PetroGrapher: managing petrographic data and knowledge using an intelligent database application. *Expert Systems with Application* , 26, 918.
- Abidi, S., y Manickam, S. (2002). Leveraging XML-based electronic medical records to extract experiential clinical knowledge. *International Journal of Medical Informatics*.
, 68,187-203.
- Acosta, G., Gonzalez, C., y Pulido, B. (2001). Basic tasks for knowledge-based supervision in process control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* , 14,441-455.
- Aldea, A., Banares-Alcantara, R., Jimenez, L., Moreno, A., Martinez, J., y Riano, D. (2004). The scope of application of multi-agent Systems in the process industry: three case studies. *Expert Systems with Applications* , 26,39-47.

- Alibaba, H., y Ozdeniz, M. (2004). A building elements selection system for architects. *Building and Environ-ment* , 39,307-316.
- Alonso, F., Fuertes, J., Martinez, L., y Montes, C. (2000). An incremental solution for developing knowledge-base software: its applicaion to an expets system for isoki-netics interpretation. *Expert Systems witch applications* , 18,164-184.
- Ambiental, F. F. (2000). *Perfil Profesional del respon-sable del Medioambiente*. Obtenido de Fundacio foruma-mbiental: www.forumambiental.org
- Arnold, M., y Osorio, F. (1998). *Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas*. Obtenido de www.moebio.uchile.cl/03/frprinci.htm
- Association for Computing Machinery, I. (2012). The ACM Computing Classification System. *Publications Dept., ACM, Inc.* , <http://www.acm.org/about/class/ccs98.html>.
- Baeza, J., Ferreira, E., y Laufuente, J. (2000). knowledge-based supervision and control of wastewater treatment plant: a real-time implementacion. *Water Siencie and Technology* , 41,129-137.
- Barla Galván, R. (s.f.). *Un diccionario para la educa-ción ambiental*. Obtenido de http://www.elcastellano.org/glosario_ambiental.pdf
- Barrera-Cortes, J., Astruc, J., y Tufeu, R. (2001). knowledge base specification to automate the fluid critical point of fluid. *Applied artificial Intelligence* , 15,453-470.
- Benson, S., y Asgapoor, S. (2000). A fuzzy expert sys-tem for evaluation of demand-side management alterna-tives. *Electronic Machines and power Systems* , 28,749-760.
- Bochsler, D. C. (1988). A Project Managment Ap-proach to Expert System Applications. *ISA 88* , 1458-1466, 1988.
- Boegl, K., Adlassnig, k., Hayashi, Y., Rothenfluh, T., y Leitich, H. (2004). Knowledge acquisition in the fuzzy knowledge representation framework of a medical consu-lation system. *Artificial Intelligence in Medicine* , 30,1-26.
- Bontre, A., Ors, R., y Peris, M. (2004). Advanced auto-mation of a flow injection analysis system for quality con-trol of olive oil through the use of a distributed expert sys-tem. *Analytica Chinica Acta* , 506, 189-195.
- Bourbakis, N., Mogzadeh, a., Mertoguno, S., y Koutsougeras, C. (2002). A Knowledge-based expert sys-tem for automatic visual VLSI reverse -engineering:VLSI layout version. *IEEE Transactions on Systems,Man,and Cybernetics-Part A:Systems and Humans* , 32,428-437.
- Carrasco, E., Rodriguez, J., Punal, A., Roca, E., y Le-ma, J. (2004). Diagnosis of acidification states in an anaer-obic wastewater yreatment olant using a fuzzy-based sys-tem. *Control Engineering Practice* , 12,59-64.
- Chau, K., y Albermani, F. (2004). Hybrid knowledge representation in a blackboard KBS for liquid retaning structure design. *Engineering Application of artificial In-telligence* , 17,11-18.
- Cheung, Y., Hong, G., y Ang, K. (2004). A dynamic project allocation algorithm for a distributed expert sys-

tem. *Expert Systems with Applications* , 26,225-232.

Cohen, Y., y Shoshany, M. (2002). A national knowledge-based crop recognition in Mediterranean environment. *International Journal of Applied Earth Observation* , 4,75-87.

Croce, F. D., Fazzini, P., Massucco, S., Morini, A., Silvestro, F., y Sivieri, M. (2001). Operation and Management of the electronic system for industrial plants: an expert system prototype for load-scheduling operator assistance. *IEEE Transaction on Industry Applications* , 37, 701-708.

Cruces, A., Arriaga, y Arriaga, F. (2000). Reactive agent design for intelligent tutoring systems. *Cybernetics and Systems: an International Journal* , 31, 1-47.

Dash, P., Mishra, S., Salama, M., y Liew, A. (2000). Classification of power system disturbances using a fuzzy expert system and a fourier linear combiner. *IEEE Transactions on power Delivery* , 15,472-477.

Davis, M. L., y Masten, S. J. (2004). *Principles of Environmental Engineering Science* (3a. Edición ed.). ISBN: 0-07-235053-9: Mc Graw Hill.

Depradine, C. (2003). Expert system for extracting syntactic information from Java code. *Expert Systems with Applications* , 25,187-198.

Drigs, A., Kouremenos, S., Vrettos, S., y Kouremenos, D. (2004). An expert system for job matching of the unemployed. *Expert Systems with Applications* , 26,217-224.

Edrees, S., Rafea, A., Fathy, I., y Yahia, M. (2003). Neper: a multiple strategy wheat expert system. *Computers and Electronics in Agriculture* , 40,27-43.

El-Shal, S., y Morris, A. (2000). A fuzzy system for fault detection in statistical process control of industrial process. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews* , 30,281-292.

Fernández-Vitora, C. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid, España: Mundi-Prensa ISBN:978-84-8476-384-0.

Filis, I., Sabrakos, M., Yialouris, C., Sideridis, A., y Mahaman, B. (2003). GEDAS: an integrated geographical expert database system. *Expert Systems with Applications* , 24,25-34.

Frantti, T., y Kallio, S. (2004). Expert system for gesture recognition in terminal's user interface. *Expert Systems with Applications* , 26,189-202.

Fu, Y., y Shen, R. (2004). GA based CBR approach in QyA system. *Expert Systems with Applications* , 26,167-170.

Galindo Leal, C., y Cárdenas, L. (2012). *Biodiversidad Mexicana*. Recuperado el 12 de 01 de 2014, de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>

Gardan, N., y Gardan, Y. (2003). An application of knowledge based modeling using scripts. *Expert systems with Applications* , 25,555-568.

Giarratano, J., y Riley, G. (2001). *Sistemas Expertos. Principios y programación*. México: International Thomson Editores.

Gjerdrum, J., Shah, N., y Papageorgiou, L. (2001). A

combined optimization and agent-based approach to supply chain modeling and performance assessment. *Production Planning and Control* , 12, 81-88.

Gómez Orea, D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid, España: Grupo Mundi-Prensa ISBN:84-8476-084-7.

Gomolka, Z., y Orłowski, C. (2000). Knowledge management in creating hybrid systems for environmental protection. *Cybernetics and Systems An International Journal* , 31,507-529.

Gruer, P., Hilaire, V., Koukam, A., y Cetnarowicz, K. (2002). A formal framework for multi-agent systems analysis and design. *Expert Systems with Applications* , 23,349-355.

Hatzilygeroudis, J., y Prentzas, J. (2004). Integrating (rules, neural networks) and cases for knowledge representation and reasoning in expert systems. *Expert Systems with Applications* , 26,63-75.

Hatzilygeroudis, J., y J, P. (2004). Using a hybrid rule-based approach in developing an intelligent tutoring system with knowledge acquisition and update capabilities. *Expert Systems with* , 26,477-492.

Hernández Muñoz, A., Hernández Lehman, P., y Gordillo Martínez, A. J. (2006). *Manual para la evaluación de impactos ambientales*. Madrid, España: INNOCIVE, Innovación Civil Española, S.L.

Islam, S., y Chowdhury, N. (2001). A case-based Windows graphic package for the education and training of power system restoration. *IEEE Transaction on Power Systems* , 16,181-192.

Jarmulak, J., Kerckhoffs, E., y Veen, P. (2001). Case-based reasoning for interpretation of data from non-destructive testing. *Engineering Application of Artificial Intelligence* , 14,401-417.

Juuso, E. (2004). Integration of intelligent systems in development of smart adaptive systems. *International Journal of Approximate Reasoning* , 35,307-337.

Knauf, R., Gonzalez, A., y Abel, T. (2002). A framework for validation of rule-based systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics* , 32,281-291.

Lababidi, H., y Baker, C. (2003). Web-based expert system for food dryer selection. *Computer and Chemical Engineering* , 27,997-1009.

Lee, H., Park, D., Ahn, B., Park, Y., Park, J., y Venkata, S. (2000). A fuzzy expert system for the integrated fault diagnosis. *IEEE Transactions on Power Delivery* , 15,833-845.

Leff, E. (2003). *La complejidad ambiental*. México: Siglo veintiuno editores.

Leung, D., y Romagnoli, J. (2000). Dynamic probabilistic model-based expert system for fault diagnosis. *Computers and Chemical Engineering* , 24, 2473-2492.

Leung, R., Lau, H., y Kwong, C. (2003). An expert system to support the optimization of ion plating process: an OLAP-based fuzzy-cum-GA approach.

Li, W., Tasi, Y., Tasi, y Chiu, C. (2004). The experimental study of the expert system for diagnosing unbal-

ance by ANN and acoustic signals. *Journal of sound and Vibration* , 272,69-83.

Liao, S. (2001). A knowledge-based architecture for implementing military geographical intelligence system on Intranet. *Expert Systems with Applications* , 20,313-324.

Liao, T. (2003). Classification of welding flaw types with fuzzy expert Systems. *Expert systems with Applications* , 25,101-111.

Liau, L., Yang, C., y Tasi, M. (2004). Expert system of a crude oil distillation unit for process optimization using neural networks. *Expert Systems with Applications* , 26,247-255.

Liu, Y., y Schulz, N. (2002). Knowledge-based system for distribution system outage locating using comprehensive information. *IEEE Transactions on Power Systems* , 17,451-456.

Lopez, M., Flores, C., y Garcia, E. (2003). An intelligent tutoring system for turbine of electrical power plant operators. *Expert Systems with Applications* , 24,95-101.

Mahabir, C., Hicks, F., y FayeK, A. (2003). Application of fuzzylogic to forecast seasonal runoff. *Hydrological Processes* , 17,3749-3762.

Mahaman, B., Passam, H., y Sideridis, A. (2002). A diagnostic expert system for honeybees. *Computers and Electronics in Agriculture* , 36,17-31.

Mahaman, B., Passam, H., Sideridis, A., y Yialouris, C. (2003). DIARES-IPM: a diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in Solanaceae crop Systems. *Agricultural Systems* , 76,1119-1135.

Martin, C. (2007). *El desarrollo urbano, las empresas y el ambiente*.

Martin-Baramera, M., Sancho, J., y Sanz, F. (2000). Controlling for change agreement in the validation of medical expert systems with no gold standard PNEUMON-IA and PENOIR. *Computers and Biomedical Research* , 33,380-397.

Martinez-Bejar, R., Ibanez-Cruz, F., Compton, P., y Cao, T. (2001). An easy-maintenance, reusable approach for building knowledge-based systems: application to landscape assessment. *Expert Systems with Applications* , 20,153-162.

Meesad, P., y Yeen, G. (2003). Combined numerical-linguistic knowledge representation and its application to medical diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans* , 33,206-222.

Mills, J. K., y Goman, H. (2002). Knowledge-based automation of a design method for concurrent systems. *IEEE Transactions on Software Engineering* , 28,228-255.

Mockler, R., Dologite, D., y Gartenfeld, M. (2000). Talk with the experts: learning management decision-making using CAI. *Cybernetics and Systems: An International Journal* , 31,431-464.

Montani, S., y Bellazzi, R. (2002). Supporting decisions in medical applications: the knowledge management perspective. *International Journal of Medical Informatics* , 68,79-90.

Morrison, M., McCliggage, W., Price, G., Diamond, J.,

- Sheeran, M., y Mulholland, K. (2002). Expert system support using a Bayesian belief network for the classification of endometrial hyperplasia. *Journal of pathology* , 197,403-414.
- Ngai, E., y Wat, F. (2003). Design and development of a fuzzy expert system for hotel selection. *Omega* , 275-286.
- Nilsson, N. J. (2001). *Artificial Intelligence: A new synthesis*. Stanford University: Mc Graw Hill.
- Noh, J., Lee, K., Kim, J., Lee, J., y Kim, S. (2000). A case-based reasoning approach to cognitive map-driven tacit knowledge management. *Expert Systems with Applications* , 19,249-259.
- Orduna, E., Garces, F., y Handschin, E. (2003). AI-algorithmic-knowledge-based adaptive coordination in transmission protection. *IEEE Transactions on Power Delivery* , 18,61-70.
- Padilla-Medina, J., y Sanchez-Marin, J. (2004). An adaptive fuzzy expert system to evaluate human visual performance. *Fuzzy sets and systems* , 142,321-334.
- Pino Diez, R., y Gomez Gomez, A. (2001). *Introducción a la Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales y Computación Evolutiva*. Universidad de Oviedo.
- Plant, R., y Vayssieres, M. P. (2000). Combining expert system and GIS technology to implement a state-transition model of oak woodlands. *Computer and Electronics in Agriculture* , 27, 71-93.
- Punal, A., Rodriguez, J., Franco, A., Carrasco, E., Ro-ca, E., y Lema, J. (2001). Advanced monitoring and control of anaerobic wastewater treatment plants: diagnosis and supervision by a fuzzy-based expert system. *Water Science and Technology* , 43,191-198.
- Qian, Y., Li, X., Jiang, Y., y Wen, Y. (2003). An expert system for real time fault diagnosis of complex chemical processes. *Expert Systems with Applications* , 24,425-432.
- Reidsema, C., y Szczerbicki, E. (2001). A blackboard database model of the design planning process in concurrent engineering. *Cybernetics and Systems:An International Journal* , 32,755-774.
- REMIDEC. (2008). *Red Mexicana de Investigación y Desarrollo en México*. Obtenido de <http://turing.iimas.unam.mx/~remidec/manifiesto/adhman.php>
- Reznik, L., y Dabke, K. (2004). Measurement models: application of intelligent methods. *Measurement* , 35,47-58.
- Ruiz-Sanchez, J., Valencia-Garcia, R., Fernandez-Breis, T., Martinez-Bejar, R., y Compton, P. (2003). An approach for incremental knowledge acquisition from text. *Expert Systems with Applications* , 25, 77-86.
- Saunders, S., Pascoe, S., Johnson, A., Pilling, M., y Jenkin, M. (2003). Development and preliminary test results of expert system for isms. *Atmospheric Environment* , 37,1723-1735.
- Sen, M., Minambres, J., Garrido, A., Almansa, A., y Soto, J. (2004). Basic theoretical results for expert systems, application to the supervision of adaption transients

in planar robots. *Artificial intelligence* , 152,173-211.

Serna Arenas, A. (2010). Línea del tiempo de las ciencias computacionales. *Revista Digital Lámpasakos* , 86-94.

Shaalán, K., EI-Badry, M., y Rafea, A. (2004a). A multi-agent approach for diagnostic expert systems via the internet. *Expert Systems with Applications* , 27,1-10.

Shaalán, K., Rizk, M., Abdelhanid, Y., y Bahgat, R. (2004b). An expert system for the best weight distribution on ferryboats. *Expert systems with applications* , 26,397-411.

Shu, C., y Burn, D. (2004). Homogeneous pooling group delineation for flood frequency analysis using a fuzzy expert system with genetic enhancement. *Journal of Hydrology* , 291,132-149.

Soh, L., Tsatsoulis, C., Gineris, D., y Bertoia, C. (2004). ARKTOS: An intelligent system for SAR sea ice image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 42,229-248.

Sommerville, I. (2005). *Ingeniería de Software*. Pearson Addison Wesley.

Thomson, A., y Willoughby, I. (2004). A web-based expert system for advising on herbicide use in Great Britain. *Computers and Electronics in Agriculture* , 42,43-49.

Tunez, S., Aguila, I., y Marin, R. (2001). An expertise model for therapy planning using abductive reasoning. *Cybernetics and Systems: An International Journal* , 32,829-849.

Valenzuela, L., Bentley, J., y Lorenz, R. (2004). Expert system for integrated control and supervision of dry-end section of paper machines. *IEEE Transactions on Industry Applications* , 133,87-101.

Vegh, J. (2003). The 'carbon contamination' rule set implemented in an 'embedded expert system'. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* , 133,87-101.

Wang, X., Qu, H., Liu, P., y Cheng, Y. (2004). A self-learning expert system for diagnosis in traditional Chinese medicine. *Expert system with Applications* , 26,557-566.

Wasiewicz, P., Mulawka, J. J., y Plucienniczak, A. (2000). The inference based on molecular computing. *Cybernetics and Systems. An International Journal* , 31, 283-315.

Wong, S., y Hamouda, A. (2002). A fuzzy logic based expert system for machinability data-on-demand on the internet. *Journal of Materials Processing Technology* , 124,57-66.

Wong, S., y Hamouda, A. (2003). The development of an online knowledge-based expert system for machinability data selection. *Knowledge-based systems* , 16,215-229.

Xirogiannis, G., Stefanou, J., y Glykas, M. (2004). A fuzzy cognitive map approach to support urban design. *Expert Systems with Applications* , 26,257-268.

Yan, H., Jiang, Y., Zheng, J., Fu, B., Xiao, S., y Peng,

C. (2004). The internet-based knowledge acquisition and management method to construct large-scale distributed medical expert system. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* , 74,1-10.

Yang, B., Han, T., Kim, Y., Yu, R., B, I., y H, P.

(2004). Integration of ART-Kohonen neural network and case-based reasoning for intelligent fault diagnosis. *Engineering Applications of artificial intelligence* , 16,321-333.

Yu, R., Lung, B., y Panetto, H. (2003). A multi-agents based E-maintenance system with case-based reasoning decision support. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, Expert Systems with Applications* , 16,321-

333,26,387-395.

Zha, X., y Lim, S. (2000). Assembly/disassembly task planning and simulation using expert Petri nets. *International Journal of Production Research* , 15,3639-3676.

Zhou, Q., Huang, G., y Chan, C. (2004). Development of an intelligent decision support system for air pollution control at coal-fired power plants. *Expert Systems with Applications* , 26,335-356.