

Sistema de información para la gestión del riesgo por sequía en Camagüey, Cuba

Information system for the management of drought risk in Camagüey, Cuba

Nélida Varela-Ledesma¹

Pedro L. Romero-Suárez²

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba, nelida.varela@reduc.edu.cu

²Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba, lromerocu@gmail.com

Autor para correspondencia: Nélida Varela Ledesma, nelida.varela@reduc.edu.cu

Resumen

La disponibilidad de agua en Cuba depende del comportamiento de las precipitaciones, dado por el carácter insular de la isla. La provincia de Camagüey se identifica como de las más afectadas históricamente, en particular por los severos déficits de lluvia reportados en las últimas décadas, fenómeno evidenciado dentro de los impactos del cambio climático. En tal sentido, una estrategia de gestión del potencial hídrico debe generar acciones concretas; de ahí que la dinámica de la decisión sugiera el empleo de la informatización, con el fin de integrar datos para facilitar información adecuada, coherente, inmediata. El objetivo de este trabajo se encaminó al desarrollo de un sistema basado en técnicas informáticas inteligentes que apoya al ejecutivo en tiempo real y en la predicción de la mejor oportunidad de intervención a partir del comportamiento histórico. Como resultado se obtiene un sistema de información, sustentado en la concepción sistémica que ofrece la administración por cuencas hidrográficas, de manera tal que les permita a los decisores predecir la tendencia de los elementos que influyen causalmente en el problema, efectuar consultas y, a partir de éstas,

considerar estrategias que favorezcan el uso racional y eficiente del agua, y con esto reducir el riesgo de desastre ante una intensa sequía.

Palabras clave: sistema de información, agua, sequía, decisores.

Abstract

The availability of water in Cuba depends on the behavior of the precipitations, given by the insular character of Island; the province of Camagüey is identified as one of the most affected historically, mainly by the severe deficits of rainfall reported in last decades, a phenomenon evidenced inside the impacts of climate change. In this sense, a hydric potential management strategy must generate specific actions; hence, the dynamics of decision suggests the use of computer science, in order to integrate data to provide adequate, consistent, immediate information. The goal of this paper is to development a system based on intelligent computer techniques that supports the executive in real time and in the prediction of the best intervention opportunity, based on historical behavior. As result, an information system is obtained, supported on the systemic conception that offer the administration by watersheds; in such a way that allows the decision makers to predict the trend of the elements that causally influence the problem, make consultations and from these consider strategies that favor the rational and efficient use of water and with this, reduce the risk of disaster in face of an intense drought.

Keywords: Information system, water, drought, decision makers.

Recibido: 19/03/2018

Aceptado: 25/03/2019

Introducción

Uno de los grandes desafíos que encara la humanidad es, sin lugar a dudas, la gestión del recurso agua en el enfrentamiento a la sequía. Los investigadores cubanos afirman que las condiciones climáticas del

archipiélago han experimentado notables alteraciones: elevación de las temperaturas, ascenso del nivel medio del mar, irregularidades en los patrones de comportamiento de las precipitaciones (niveles disminuidos del orden de los 40 milímetros por año), e intensas sequías (Planos, Rivero, & Guevara, 2013).

Ciertamente, como consecuencia del cambio climático, en los últimos decenios se reportan episodios severos de sequía cada vez más prolongados y frecuentes (Cutié *et al.*, 2013) ello ha propiciado que a este fenómeno se le considere como uno de los mayores desastres de origen natural, dejando secuelas dramáticas en numerosos países. En muchas ocasiones, situaciones como ésta suscitan la explotación excesiva de los acuíferos, por lo que se altera el equilibrio natural de los mismos hasta agotar las reservas del preciado líquido.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) informó a la sociedad cubana que el potencial hídrico que se manejaba en Cuba ha disminuido en la última década alrededor de 6 000 millones de m³ con respecto al histórico.

En Cuba existen instrumentos que se enfocan al diagnóstico, vigilancia y gestión de la sequía, pero de manera aislada (Fonseca, 2013). El hecho de que el proceso de seguimiento de riesgos se realice a partir de procedimientos descritos dificulta y demora el trabajo debido a que se necesita más tiempo para aplicar las acciones correctivas, pues no todas las personas involucradas se notifican a tiempo y por tanto las decisiones no se toman oportunamente. Además, la información que se procesa día a día está dispersa, en diferentes soportes, sin una integración que permita predecir, modelar o al menos medir los impactos ante un riesgo de desastre, y poder ayudar a los decisores cuando tienen ante sí un problema tan difícil de resolver mediante criterios subjetivos (Fernández, 2006).

Méndez, Rivera, Llanusa y Hernández (2018) argumentan que sólo funciona el sistema nacional de vigilancia para la sequía meteorológica y agrícola. Además, exponen en su artículo que no existe un plan de gestión debidamente fundamentado y explícito ni una guía de trabajo en condiciones de escasez de agua o sequía, al menos para la sequía operacional, que se relaciona con el monitoreo de la disponibilidad de agua.

Es en este punto donde conviene la intervención de los sistemas de información (SI), que deben tener en cuenta el modo de actuar del usuario, las diversas inclinaciones del pensamiento, de manera tal que se puedan ofrecer facilidades para adoptar apropiadas soluciones. Se

mencionan, entre estos sistemas, los siguientes: gerenciales, transaccionales, de apoyo a la decisión y estratégicos; incluso se pueden encontrar más específicos, acordes al área en que se aplican (Rodríguez & Pinto, 2017).

Con su empleo adecuado se puede hacer gestión, siempre y cuando se tenga claro cuál es el objetivo a gestionar, por qué es importante gestionarlo, cuál es el grado de intervención razonable, cuáles son los diversos niveles de responsabilidad, cuáles son las acciones y las omisiones que provocan mayores riesgos (Merayo & Barzaga, 2010).

En esta investigación se presenta el desarrollo de una plataforma conformada por técnicas informáticas inteligentes, entre otras, devenido instrumento de trabajo para los directivos durante el proceso de toma de decisiones para la gestión del recurso agua en el enfrentamiento a la sequía.

Materiales y métodos

Cuando los decisores tienen ante sí un problema de gestión de riesgo por causa de un fenómeno de origen natural, silencioso, gradual, como lo es la sequía, es difícil llegar a resolverlo mediante técnicas monocriteriales, donde entra a jugar el papel de imponerse cuestiones políticas, sociales, medioambientales y, obviamente, el componente subjetivo; por eso se necesita la aplicación de métodos que consideren múltiples factores (García & Martínez, 2008).

Sistemas de información para la gestión

En la actualidad, los sistemas de información han experimentado cambios en su forma de operar. Se emplean gráficos para representar salidas asimilables, descriptivas, convincentes; de esta manera, los

usuarios acceden a los detalles y manipulan fácilmente la información, expuesta de forma asequible; a su vez, se les empodera de conocimiento, a manera de retroalimentación.

En específico, los sistemas de información dirigidos a la toma de decisiones pueden ser sistemas expertos, sistemas para la toma de decisión en grupo, sistema de soporte a la toma de decisiones y sistemas de Información para ejecutivos; sus particularidades las define el fin que se persigue con su uso.

Inteligencia artificial en la toma de decisiones

No siempre los gestores del recurso agua tienen las características necesarias para tomar decisiones correctas dada una determinada circunstancia. Para estas personas es perentorio acudir a herramientas que les descubran las fortalezas y debilidades de su gestión, así como las oportunidades que se pudieran presentar; y si cuentan con sistemas automatizados que impliquen el uso de técnicas de inteligencia artificial, el éxito en la calidad de las decisiones está prácticamente garantizado, sobre todo para aquellas disyuntivas del día a día.

El sistema de información desarrollado acude al análisis multicriterio (Figura 1), como metodología para la toma de decisiones que en disímiles campos de aplicación ha resultado como de las más idóneas para la selección de la mejor opción; una técnica que incorpora en la modelación el subjetivismo, la incertidumbre, el entorno de aplicación, los actores implicados. A los múltiples atributos se les asignan pesos de decisión.

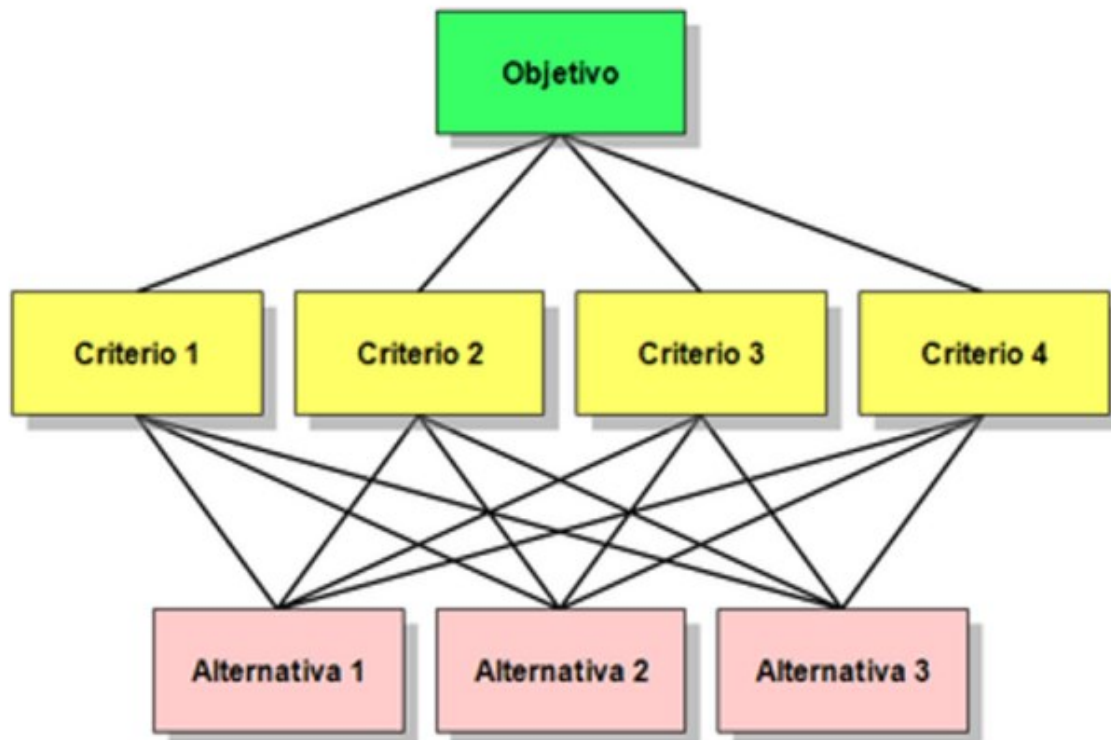


Figura 1. Jerarquía de un proceso analítico jerárquico. Fuente: Gilliams, Raymaekers, Muys y Van Orshoven (2005).

Para la comparación por pares se requiere asignar valores numéricos que definan la preferencia de un criterio u otro. La mayoría de los autores sugieren una escala de comparación que consiste en la asignación de valores en el rango de 1 a 9; el 1 significa que entre pares de criterios existe la misma importancia; el 9 expresa la supremacía de prevalencia de un criterio sobre los otros.

Conforme al objetivo propuesto en este trabajo, el uso de la técnica del paradigma del Análisis Multicriterio Discreto, desde su variante Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), le posibilita a los decisores, con base en dos criterios cardinales, disponer cómo abastecer algún embalse que se encuentre deprimido (Figura 2).

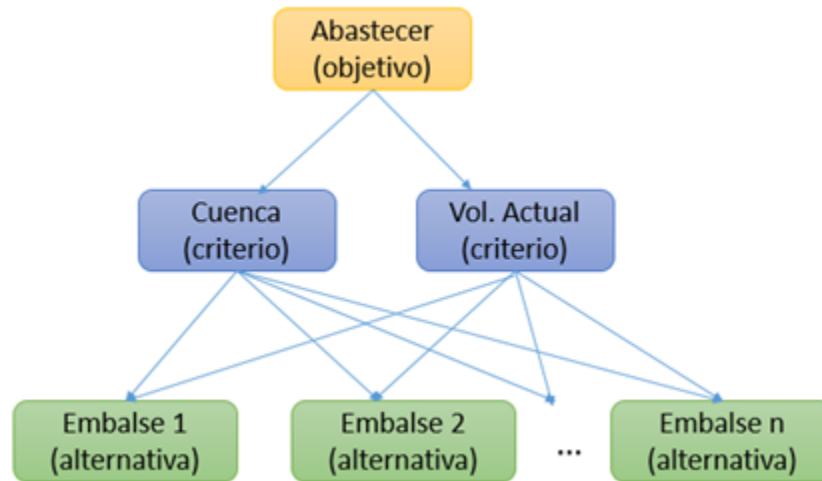


Figura 2. Jerarquía de decisión, empleando el método AHP. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al análisis de tendencias y predicción de valores con el propósito de mejorar la planeación estratégica del recurso agua en la provincia, se estudiaron varias técnicas inteligentes que encuentran patrones, vínculos, y así se obtienen los resultados.

Se seleccionó el Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (KDD, por sus siglas en inglés), por ser un proceso que identifica patrones nuevos, efectivos, genuinos y comprensibles. El KDD induce reglas, introduce la clasificación y los *clustering*, realiza un modelado predictivo y descubre dependencias. En la Figura 3 se aprecia la preparación de los datos durante la evaluación de algoritmos inteligentes para la predicción.

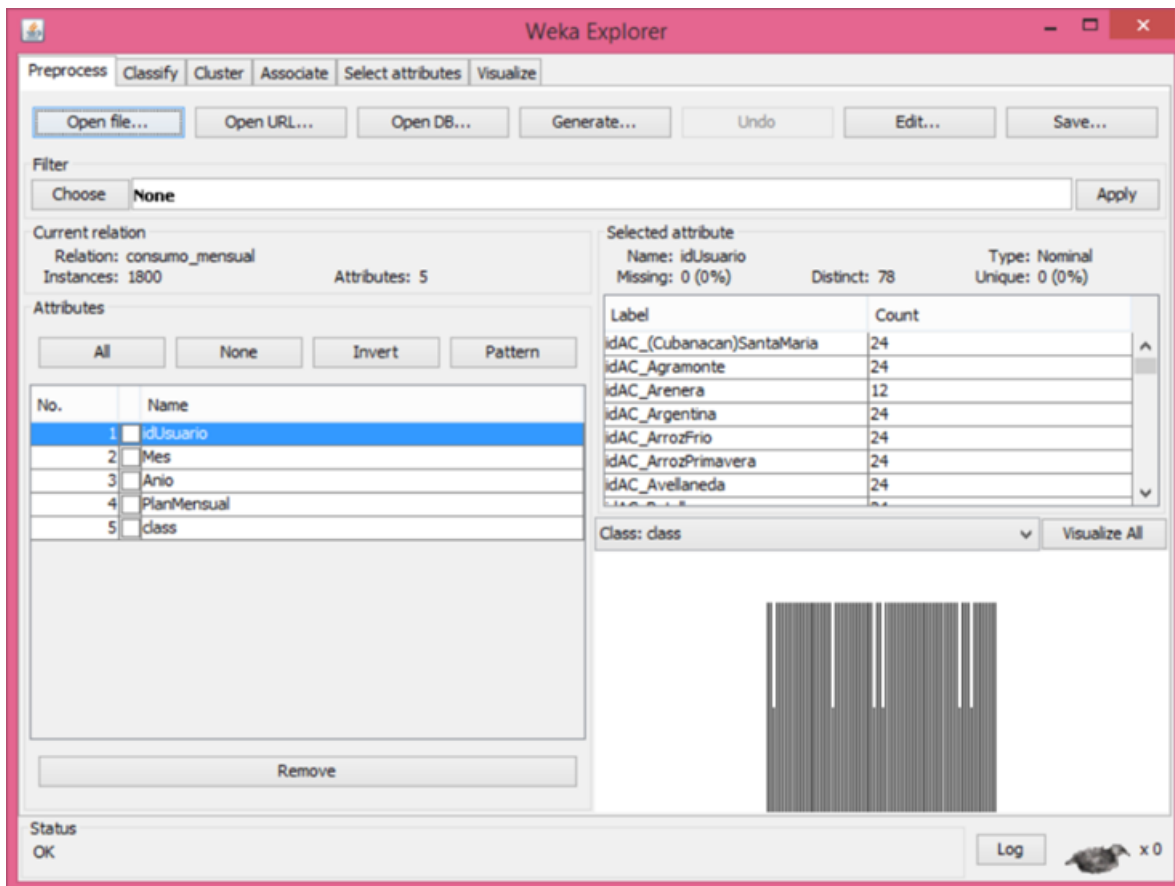


Figura 3. Preparación de los datos mediante *Weka Explorer*.

Luego se analizan varias pruebas para obtener el método más óptimo. El IBK (KNN), que clasifica en cada instancia encontrada la clase más frecuente a la que pertenezcan sus K vecinos más cercanos; la regresión lineal, para intentar construir una función matemática que calcule el valor a predecir; MLP de Weka, que realiza validación cruzada; *Decision Table*, para construir una tabla de decisión, y por último el M5P, que combina los árboles de decisión con las funciones de regresión lineal, para lo cual se van creando "reglas" que se aplican consecuentemente de acuerdo con determinada condición, y en correspondencia cumplir una regla u otra.

Como las salidas de las pruebas fueron similares, se decidió proceder con un *test* estadístico para comprobar si eran significativas las diferencias. Se aplicó dicha prueba a la lista de datos con respecto a los cinco algoritmos y se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la aplicación del test no paramétrico de *Friedman*.

Algoritmo	Ranking
IBK	4
<i>LinearRegression</i>	2
MLP	5
<i>DecisionTable</i>	3
M5P	1

De acuerdo con el ranking, el M5P ocupa el primer lugar. Como *P-value* resultó igual a 0.003019, entonces es menor que el *Friedman statistic*, que se obtuvo (16); por tanto, se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre los distintos algoritmos; de ahí que, según este *test* estadístico, sí hay diferencias significativas, por lo que se procedió a aplicar la comparación de *Post hoc* con *Holm*. Se escogió como algoritmo de control a M5P, y se comparó con MLP, IBK, *DecisionTable* y *LinearRegression* (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de *Post hoc* con *Holm*.

<i>i</i>	Algoritmo	$z = (R_0 - R_i) / SE$	<i>p</i>	<i>Holm</i>
4	MLP	3.577709	0.000347	0.0125
3	IBK	2.683282	0.00729	0.016667
2	<i>DecisionTable</i>	1.788854	0.073638	0.025
1	<i>LinearRegression</i>	0.894427	0.371093	0.05

Holm rechaza las hipótesis que tienen un *p-value* < 0.025, en este caso serían MLP e IBK, lo cual quiere decir que tanto *LinearRegression* como *DecisionTable* son iguales de buenos que el algoritmo de control.

A tono con lo anterior, tanto M5P como *LinearRegression* y *DecisionTable* pudieron utilizarse en la clasificación. Se consideró entonces el criterio de expertos en el tema, por lo que se decidió implementar en la aplicación el algoritmo de regresión lineal.

Resultados

Interfaces del sistema

SIDecision (sistema de información para la toma de decisiones) es una aplicación *desktop* que cuenta con una interfaz amigable y a la vez fácil de utilizar. Se apoya en el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC), y utiliza el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) *Netbeans* y el lenguaje de programación *Java*, unido a la tecnología *JavaFx*. La base de datos se implementó mediante la plataforma *MySQL*.

La Figura 4 muestra la ventana principal de la aplicación, la que concede el acceso a las diferentes funcionalidades. Cada una de estas opciones en forma de botones da lugar a nuevas ventanas.

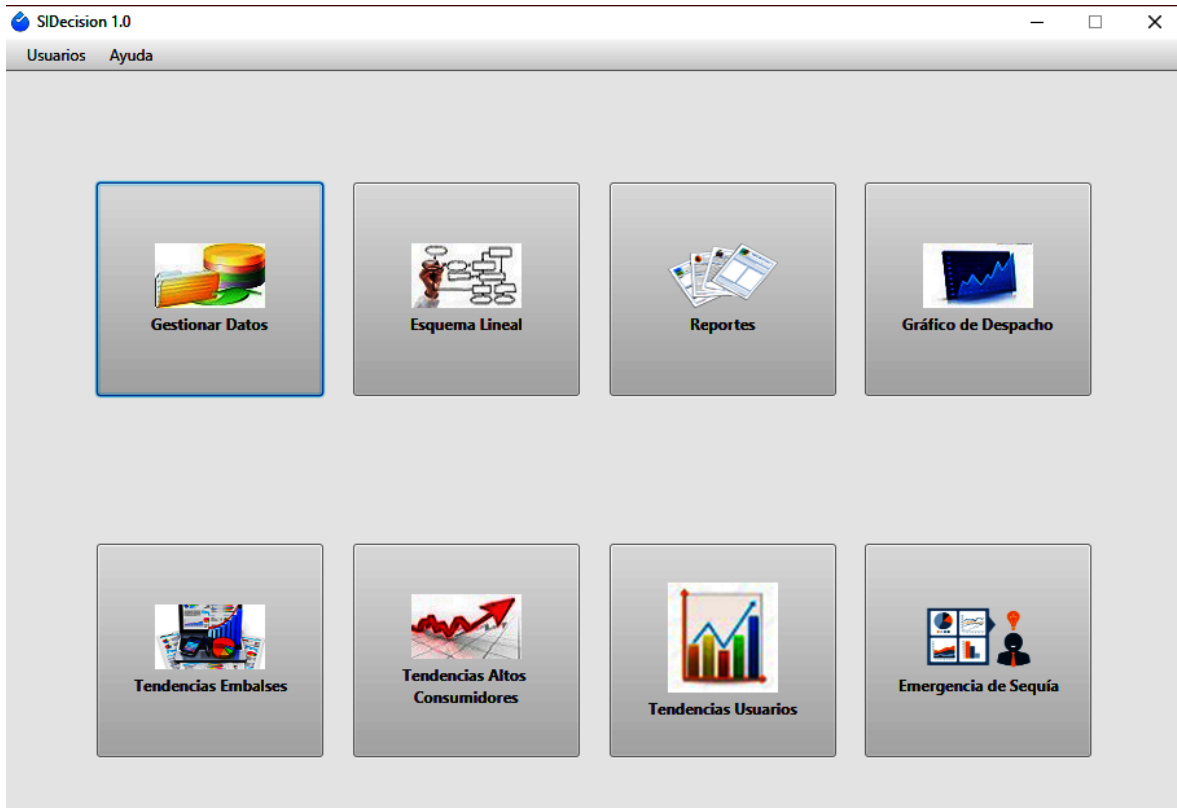
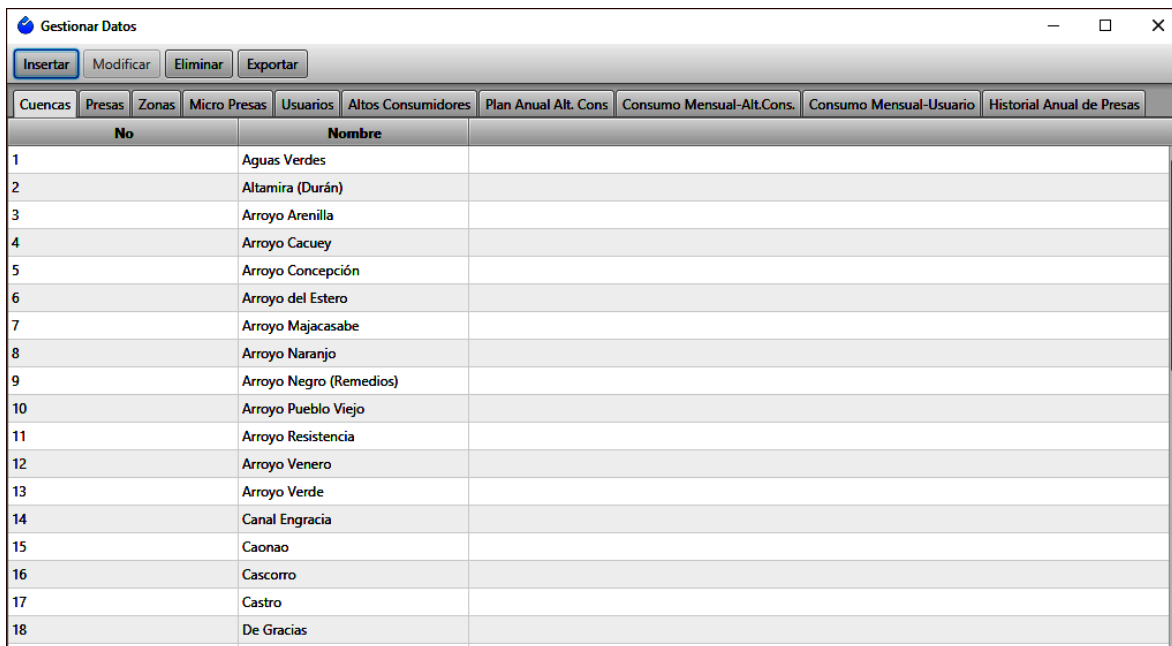


Figura 4. Pantalla principal del sistema de información.

A continuación se exponen algunas salidas del *software*. En la Figura 5 se muestra la ventana Gestionar Datos, específicamente en la pestaña Cuencas, como ejemplo de las funcionalidades que permite esta interfaz. Se observa un listado de las cuencas con sus características; las opciones: Insertar nuevas cuencas (Botón Insertar); Exportar en los formatos "xls" o "csv" (Botón Exportar), y Modificar o Eliminar. Se considera de las más importantes, pues mantiene actualizada la información con la que trabaja el Sistema.



No	Nombre
1	Aguas Verdes
2	Altamira (Durán)
3	Arroyo Arenilla
4	Arroyo Cacuey
5	Arroyo Concepción
6	Arroyo del Estero
7	Arroyo Majacasabe
8	Arroyo Naranja
9	Arroyo Negro (Remedios)
10	Arroyo Pueblo Viejo
11	Arroyo Resistencia
12	Arroyo Venero
13	Arroyo Verde
14	Canal Engracia
15	Caonao
16	Cascorro
17	Castro
18	De Gracias

Figura 5. Menú Gestionar Datos.

En la Figura 6 se aprecia la ventana donde el usuario del sistema puede consultar visualmente y en formato digital el gráfico donde se ubican las obras, embalses, cuencas y sistemas en cada una de las Unidades Empresariales de Base de la provincia (UEB: norte o sur), y dentro de cada una de ellas las zonas que se encuentran ya definidas; además de conocer los clientes a los que se le realiza la entrega y ver las micropresas que están a su alrededor, y que pertenecen a una misma cuenca hidrográfica.

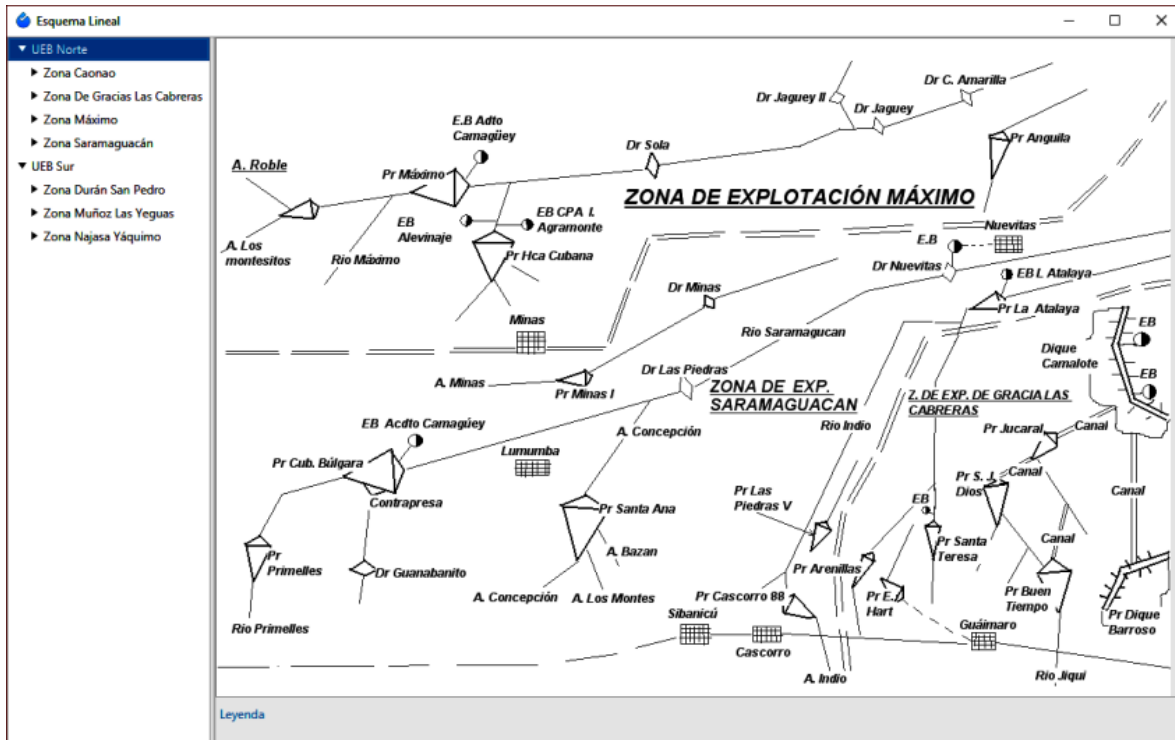


Figura 6. Ventana Esquema Lineal, UEB Norte.

Luego de establecer el peso a cada criterio y de ser asignado para implementar el método matemático, la salida muestra la mejor alternativa a ejecutar, indicando además, de forma ordenada, otras variantes a tener en cuenta (Figura 7).

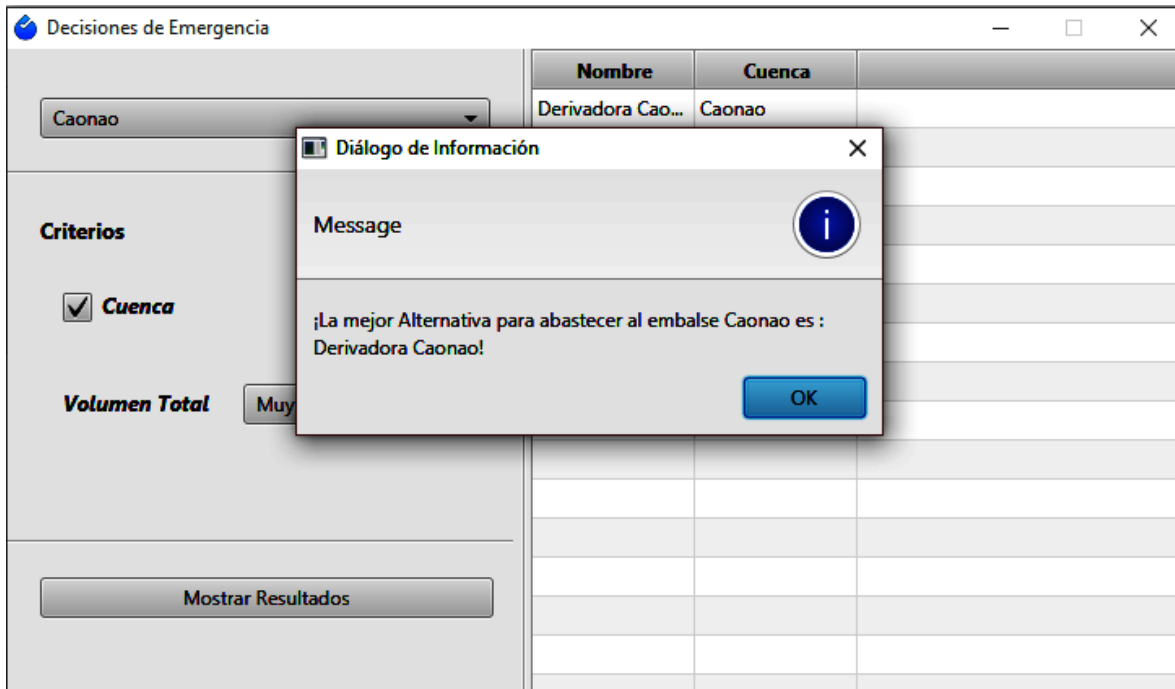


Figura 7. Ventana Decisiones de Emergencia ante déficit de agua disponible.

Si el usuario selecciona la opción del menú principal: Tendencia Altos Consumidores, podrá visualizar cómo se ha comportado un alto consumidor en cuanto al Plan Mensual y Entrega Real a lo largo de un año específico. Esta información les facilita a los ejecutivos conocer si lo que se les está planificando a los altos consumidores está por encima de lo que realmente consumen, lo que llevaría a ajustar los planes; o si están sobrepasando la asignación de consumo mensual, lo que llevaría a un análisis de las normas en cuanto a eficiencia para confirmar si la causa es que realmente necesitan más de lo que se les proyecta, o si son derrochadores por problemas en las redes u otra cuestión. El sistema alertará visualmente a los directivos en caso de que el consumo real de un alto consumidor haya sobrepasado el plan anual.

Esta opción también brinda la posibilidad de "Predecir". Una vez seleccionada esta acción, el sistema mostrará una ventana con las predicciones de Entrega Real Acumulada para un alto consumidor en los meses que le siguen hasta finalizar el año. Para lograr esta salida se implementó el algoritmo de regresión lineal, donde, a partir de la serie histórica almacenada se predice el valor de Entrega Real, que se concibió como clase numérica. Esta técnica funciona de forma tal, que

para predecir el valor de entrada el algoritmo se establece una función lineal a partir de los datos ya conocidos y luego la evaluación pertinente.

Respecto a la opción Gráfico de Despacho, se visualiza a través de un gráfico de área (Figura 8) el escenario para cada embalse. La importancia de la digitalización de esta funcionalidad es la toma de decisiones rápidas y ágiles en cuanto a las condiciones del embalse, verificando su disponibilidad y realizando las entregas planificadas, observando en caso de desviaciones las orientaciones y directivas emitidas al respecto. Además, es posible actualizar las coordenadas de cada uno de los embalses registrados y consultar sus valores históricos.

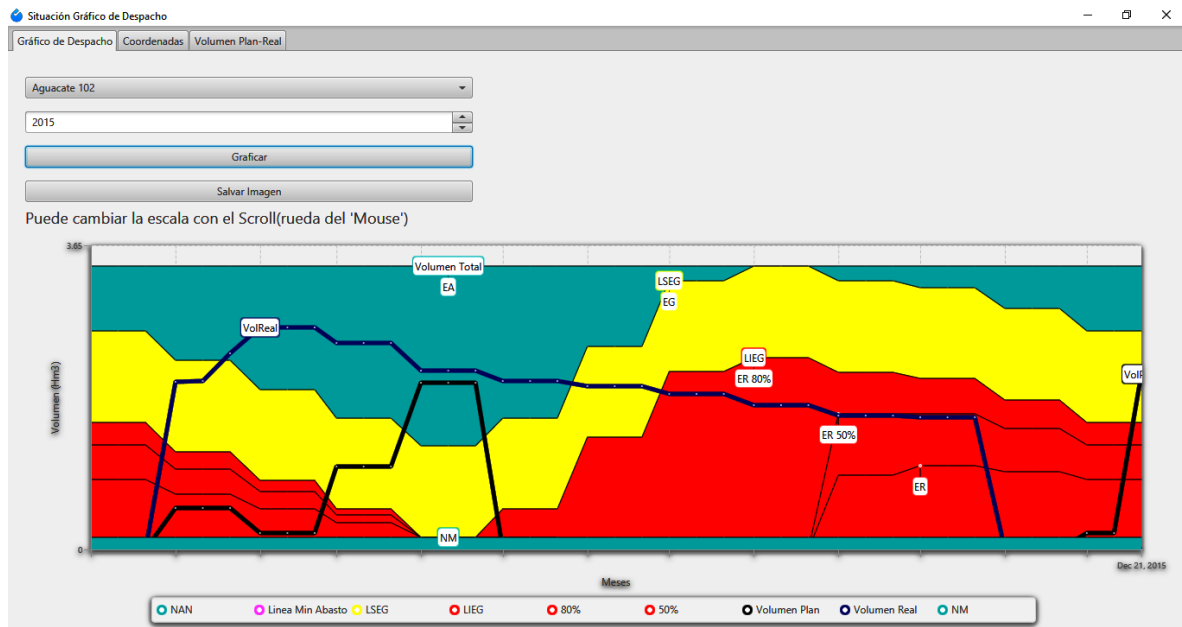


Figura 8. Interfaz Situación Gráfico de Despacho.

Discusión

Los resultados demuestran que el sistema de información diseñado constituye una herramienta válida para fortalecer la gestión del riesgo ante sequía intensa, resumiendo y haciendo más operativa la toma de

decisión, proceso tedioso que involucra a muchos participantes (Burlando & Anghileri, 2018).

El decisor puede valorar qué está sucediendo y cómo proceder mediante los reportes que emiten una alerta de volumen por debajo del umbral mínimo, una vez que se hayan actualizado por parte del usuario los valores de cada embalse. Toledo (2011) plantea la necesidad de confrontar la variabilidad del agua en tiempo y espacio.

Con el sistema de información *SIDecision*, los directivos disponen de salidas gráficas, y con esto tienen en sus manos un elemento más para ejecutar acciones y medidas preventivas. Si los ejecutivos trabajan con base en las vulnerabilidades detectadas, se pueden minimizar los daños. La gestión de riesgos requiere una planificación y evaluación científica y rigurosa, que se cimienta en información veraz y oportuna (Casares & Lizarzaburu, 2016).

La aplicación informática tiene en cuenta la necesaria actualización de los embalses utilizables, además de que visualiza y compara el consumo de agua con respecto al rendimiento de todos los sectores en cada cuenca hidrográfica, considerada por García (2014), y Jiménez y Faustino (2016) un escenario de gestión ambiental de las aguas, como un ecosistema, dado que implica al medio físico, biológico, las relaciones de los actores sociales, y los procesos económicos, políticos, sociales, culturales, históricos que en ella se desarrollan.

Conclusiones

La implementación en la provincia de Camagüey del sistema de información desarrollado suple la principal limitación que en Cuba presenta la gestión del riesgo ante sequía, como la desacertada traducción práctica para acometer las indicaciones hasta la escala local; de este modo se integran todos los actores a la dinámica de la información mediante la plataforma informática.

El Sistema de Información de Soporte a la Decisión, con el empleo de técnicas inteligentes en su diseño, permite la actualización permanente de los datos, particularización de los impactos, predicción de comportamientos, sugerencia de alternativas de decisión, emisión de

reportes digitales e imágenes; todo lo cual posibilita un mejor plan de gestión y con esto contribuir a la gestión del riesgo ante sequía.

La herramienta *SIDecision* se concibe desde el reconocimiento de los factores de riesgos sobre los que se acciona en un proceso de tratamiento, consulta y monitoreo continuo de la gestión del riesgo, pertinente para su implantación en cualquier contexto cubano, a fin de que los decisores contribuyan con sus respuestas al ahorro y disponibilidad del recurso agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Camagüey, y a ejecutivos de la Delegación provincial del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos por su cooperación durante la investigación y validación de la propuesta.

Referencias

- Burlando, P., & Anghileri, D. (2018). *Water Resources Management – Course Information -Spring Semester 2018*. University of Iowa. Recuperado de <http://digital.lib.uiowa.edu/cdm/singleitem/collection/gpc/id/1826/rec/38>
- Casares, I., & Lizarzaburu, E. R. (2016). *Introducción a la gestión integral de riesgos empresariales. Enfoque: ISO 31000*. Lima, Perú: Platinum Editorial S.A.C. Recuperado de https://fundacioninade.org/sites/inade.org/files/web_libro_3_la_gestion_integral_de_riesgos_empresariales.pdf
- Cutié, V., Lapinel, B., González, N., Perdigón, J., Fonseca, C., & González, I. (2013). *La sequía en Cuba, un texto de referencia*. La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente (AMA).
- Fernández, V. (2006). Gestión del conocimiento *versus* gestión de la información. *Investigación Bibliotecológica*, 20(41). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2006000200003
- Fonseca, C. M. (2013). *Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Cuba*. Recuperado de http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/571/mod_page/content/88/Cuba_2_2.pdf

- García, L., & Martínez, E. (diciembre, 2008). Base conceptual de un sistema inteligente de apoyo a las decisiones multicriterio. *14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, La Habana, Cuba. Recuperado de <http://ccia.cujae.edu.cu/index.php/siia/siia2008/paper/download/1033/149>
- García, Y. (2014). Estrategia de gestión ambiental para el desarrollo sostenible en la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas. *Centro Agrícola*, 41(4), 45-50.
- Gilliams, S., Raymaekers, D., Muys, B., & Van Orshoven, J. (2005). Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49(1), 142-158. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169905000414>
- Jiménez, F., & Faustino, J. (2016). *La cuenca hidrográfica como unidad de manejo, gestión y cogestión de los recursos naturales*. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8358/La_cuenca_hidrografica_como_unidad_de_manejo.pdf
- Méndez, O., Rivera, E. C., Llanusa, H., & Hernández, A. O. (2018). Enfrentamiento a la sequía operacional en la empresa Aguas de La Habana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(2), 112-123.
- Merayo, A., & Barzaga, O. S. (2010). El perfeccionamiento de la gestión ambiental desde el análisis de riesgo para la toma eficiente de decisiones. *Ciencias Holguín*, 16(2), 1-11. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517926021>
- Planos, E., Rivero, R. E., & Guevara, V. (eds.). (2013). *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente.
- Rodríguez, Y., & Pinto, M. (2017). Requerimientos informacionales para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones de información. *TransInformação*, 29(2), 175-189. Recuperado de www.scielo.br/pdf/tinf/v29n2/0103-3786-tinf-29-02-00175.pdf
- Toledo, A. (2011). *La gestión integrada de los recursos hídricos: un reto para el Perú*. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/media/353327/7-la_gestion_integrada_de_los_recursos_hidricos_ing_adolfo_toledo.pdf