

Sistemas inteligentes, ingeniería e hidroinformática¹

Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina
ISSN 0124-8170, N° 13
(Págs. 71 - 79)

NELSON OBREGÓN NEIRA (IC, MIC, PHD)^o
FEDERICO FRAGAIA (GEÓLOGO, MSC)^{o*}

Resumen

Este trabajo presenta un marco conceptual y referencial de los denominados Sistemas Inteligentes en el marco de su empleo en la ingeniería y particularmente en la nueva disciplina de la hidroinformática. Estos incluyen dos grandes ramas: la inteligencia computacional y los sistemas basados en el conocimiento. En los primeros se pueden incluir los paradigmas de la inteligencia artificial que son las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos y la lógica difusa. En los segundos se pueden catalogar los sistemas basados en reglas como los árboles de decisión y los sistemas expertos (difusos). En general, todos los sistemas inteligentes ofrecen otra posibilidad para aproximar la compleja problemática que existe en el estudio de los hidrosistemas. Por consiguiente este trabajo representa un esfuerzo por promo-

* Profesor y Director del Grupo de Investigación HIDROCIENCIAS del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesor del Postgrado de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia.

** Profesor y miembro del Grupo de Investigación HIDROCIENCIAS del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

¹ Ponencia presentada en la Tercera Jornada de los Recursos Hídricos y el Ambiente, Universidad Militar Nueva Granada, septiembre 23 a 27 de 2002.

cionar su uso y divulgación en nuestro medio, sobre todo entre los ingenieros civiles, ambientales y en general todos los profesionales y geocientíficos involucrados de alguna manera u otra con los recursos hídricos en Colombia.

Palabras clave: sistemas inteligentes, hidroinformática, redes neuronales artificiales.

Abstract

This work presents a conceptual framework about the so-called Intelligent Systems regarding their usage in the field of engineering and particularly in the new discipline of Hydroinformatics. These systems include two branches: Computational Intelligence and Knowledge-based systems. Within the first ones can be included the paradigms of Artificial Intelligence such as artificial neural networks, genetic algorithms and fuzzy logic. The second ones comprise the rule-based systems and in particular, the decision trees and the (fuzzy) expert systems. In general, all of them offer another possibility aimed at approaching the complex problematic that exists in the study of hydrosystems. Therefore, this work represents an effort in order to promote their usage and knowledge in Colombia, specially among civil engineers, environmental engineers and in general, among those professionals and scientists involved with Colombian water resources.

Key words: intelligent systems, hydroinformatics, artificial neural networks.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de la explotación de los recursos naturales, de la mano de la complejidad inherente en los sistemas y de la aceptación de nuestras limitaciones de medición biofísica ha presionado por soluciones aceptables, pero no óptimas en el desarrollo de la infraestructura y el aprovechamiento y conser-

vación de los recursos naturales (renovables). Por esta razón las aproximaciones para los estudios de modelación han demandado y demandan en la actualidad por nuevas abstracciones que permita mejorar nuestras habilidades predictivas de la naturaleza y por consiguiente procurar por un desarrollo sostenible (Obregón, 2001). La hidroinformática surge de esta forma, como un paradigma de Información y Comunicaciones que procura disciplinariamente aportar otra condición necesaria en el marco de la sostenibilidad hídrica teniendo en cuenta herramientas derivadas de tecnología de la información.

Un gran componente de la hidroinformática tiene que ver con la aplicación de los denominados sistemas inteligentes los cuales desde hace ya varias décadas viene aplicándose principalmente en el campo de las Ingenierías electrónica, eléctrica, mecatrónica y de telecomunicaciones. Su aparición en estudios de aprovechamiento y conservación de recursos hídricos es reciente comparado con las anteriores ingenierías. En nuestro medio, los sistemas inteligentes en el marco de la hidroinformática aún no es de uso y conocimiento generalizado, por lo que este trabajo procura proporcionar los conceptos y herramientas básicas de los sistemas inteligentes de tal forma que se promocióne su uso en esta arena. De esta forma, el presente documento se encuentra estructurado de la siguiente manera. En primer lugar se proporciona un marco conceptual donde se revisan las definiciones fundamentales de la hidroinformática y de los sistemas inteligentes; para después centrar la discusión en varias de las herramientas de estos últimos y sobre todo la oportunidad de aplicación que ellas representan en la compleja problemática inherente en el estudio de los hidrosistemas.

MARCO CONCEPTUAL

SISTEMAS INTELIGENTES

Los computadores son capaces de ejecutar manipulaciones numéricas y simbólicas que una

persona ordinaria, pero en una forma más rápida y confiable. Tal y como sucede con el manejo de grandes bases de información y con la implementación de modelos matemáticos en el computador que tratan de reproducir comportamiento de fenómenos y procesos que tienen lugar en la naturaleza. Y aunque estos usos del computador son impresionantes, en sí lo que este está realizando son operaciones sencillas, sólo que en forma rápida. En tales aplicaciones, el computador es todavía una máquina de cálculo compleja. La idea intrigante ahora es si podemos construir un computador (o un programa de computador que pueda pensar (Hopgood, 2000). Y como Penrose (1989) ha puntualizado, la mayoría de nosotros estamos bastante felices con máquinas que nos permiten hacer cosas físicas en forma más fácil y rápida, tales como excavar un hueco, lavar la ropa o volar. Sin embargo, la idea de una máquina que pueda "pensar" por nosotros es una tarea ambiciosa que implica serios cuestionamientos éticos y filosóficos.

En ese contexto la inteligencia artificial (IA) se encuentra dirigida hacia la construcción de tal máquina y al mejoramiento del entendimiento de la inteligencia. Nos encontramos lejos de alcanzar tal objetivo, pero se ha avanzado cierto nivel de éxito en la reproducción de ciertas tareas de la mente humana, tales como jugar ajedrez, interpretar frases habladas y diagnosticar enfermedades en medicina, entre otros. En este camino modesto de logros, la investigación dentro de la IA junto con otras ramas de la ingeniería de sistemas, ha permitido el desarrollo de varias herramientas computacionales útiles que forman la base de los denominados sistemas inteligentes. Estos incluyen aproximaciones simbólicas, en los cuales el conocimiento es explícitamente expresado en palabras y símbolos, y las aproximaciones numéricas tales como las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos y la lógica difusa (ver figura 1).

En general, los sistemas basados en el conocimiento, la inteligencia computacional (o "Soft



Figura 1. Categorías de sistemas inteligentes, tomado de Hopgood (2000).

Computing"), y sus híbridos son colectivamente enmarcados en el campo de los sistemas inteligentes (Hopgood, 2000). Y aunque no desarrollo y promoción no necesariamente ha encontrado su raíces desde las hidrocencias, sí recientemente una gran cantidad de aplicaciones fortalecen cada día su bondad en la aproximaciones de la compleja problemática hídrica. De esta forma, los sistemas inteligentes cuando son aplicados al estudio de los hidrosistemas, incorporan una gran proporción de temáticas dentro de la naciente y acertada disciplina de la *hidroinformática*.

EL PARADIGMA HIDROINFORMÁTICO

Un requisito esencial para la vida humana es el agua. La humanidad puede "mantenerse" sin edificaciones y sistemas modernos de transporte, pero no sin el valioso recurso. El agua es un recurso natural finito que no aumenta y conforma una parte central de todos los procesos naturales de la tierra. Por consiguiente la ingeniería civil y ambiental tiene como una de sus tareas básicas la infraestructura relacionada con el agua en el medio natural. Las actividades de ingeniería correspondientes se asocian principalmente a la llamada *hidroingeniería*. Dentro de estas los proyectos típicos son los sistemas de irrigación y drenaje (pluvial y de aguas tratadas o naturales),

el manejo de los ríos y la ingeniería costera, la protección contra las inundaciones, los canales de navegación y los puertos, las estaciones de energía así como el manejo del agua subterránea, etc. La inteligencia computacional (figura 2) como parte de los sistemas inteligentes surge como una posibilidad dentro de las actividades de análisis y modelación de los diferentes hidrosistemas de tal forma que se procure por diseños y soluciones económica y ambientalmente sostenibles.

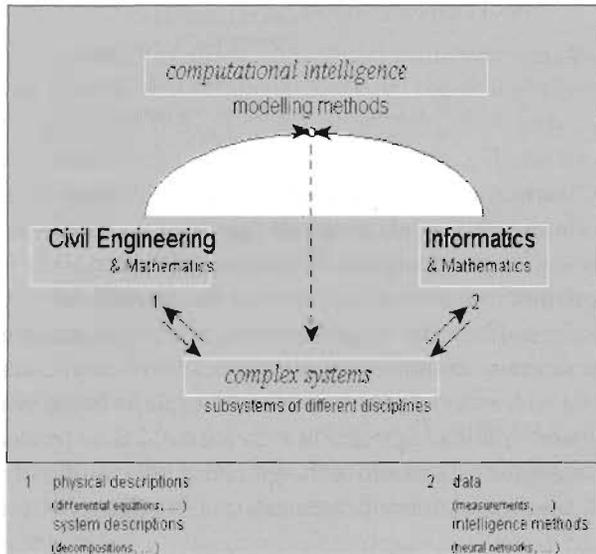


Figura 2. Interacción entre la ingeniería civil, los sistemas complejos, la matemática y la inteligencia computacional
(Fuente: Grupo de Informática en Ing. Civil, Univ. de Delft, 2001).

También cumple la función de agente integrador de las disciplinas de la ingeniería civil, la informática y la matemática en la investigación de los diferentes sistemas complejos que surgen principalmente en el manejo del agua y en los procesos de construcción y edificación (ver figura 2). Es decir, que para el caso de la ingeniería civil los sistemas en cuestión son principalmente los hidrosistemas (naturales y artificiales); los asociados a la construcción y edificación; y al manejo dinámico de los sistemas de transporte (Grupo de Informática en ingeniería civil, Delft, 2001). De esta forma, en este contexto surge una nueva disciplina la *hidroinformática*.

En este orden de ideas, el diseño, la construcción y operación de tales hidrosistemas demanda herramientas eficientes para la simulación y monitoreo de la infraestructura y su interacción con el ambiente natural. Debido a que la disponibilidad de los computadores una gran cantidad de sistemas de software ha sido desarrollado y aplicado para soportar la ingeniería en estas tareas. Dependiendo del progreso en la *Tecnología de Información y Comunicación* (ICT, por sus siglas en Ingles: "Information and Communication Technology"), más y más funcionalidades y características han sido introducidas en estos sistemas de software. Los primeros módulos en desarrollarse han sido los asociados a los "cálculos por medio de simulaciones numéricas de los procesos físicos". El manejo de los datos y análisis resulta después con los sistemas de bases de datos y de almacenamiento masivo; así como el mejoramiento en las capacidades de visualización gráfica, presentación y módulos de presentación. Todos estos módulos forman conjuntamente sistemas de software integrado modernos que soportan al "hidroingeniero" en el trabajo diario. De esta forma, una *nueva disciplina llamada Hidroinformática con sus correspondientes Sistemas Hidroinformáticos* *tratan hoy por hoy con el desarrollo y aplicación de las soluciones provenientes de la ICT en Hidroingeniería* (Molkenthin, 2000).

Una breve presentación de las posibles definiciones de la hidroinformática puede ser apreciada por ejemplo en Price (1997) y Abbot (1991):

- Tecnología de la información para el manejo del agua;
- Disciplina básica de hidroingeniería que soporta el desarrollo sostenible del medio acuático a través del uso de los computadores y las redes. En su parte central la hidroinformática trata con la modelación de la información relacionada con la hidroingeniería, así como también con las plataformas de proyectos distribuidos y soportados por la ICT y por los procesos de trabajo en inge-

nería para diseño, operación, manejo, consultoría y administración.

En la figura 3 se presenta un esquema que reúne los componentes fundamentales de los sistemas hidroyinformáticos, y que en opinión del autor debe ser considerado en nuestro medio como una "carta de navegación" para las entidades e instituciones tanto públicas y privadas relacionadas con el aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos. Debe permitir a científicos, profesionales y manejadores del agua establecer el estado del arte de sus proyectos, estudios e investigaciones, no sólo a nivel personal, sino también en el campo institucional. Así por ejemplo, se podido establecer mediante una revisión de la literatura especializada que mientras en Colombia se ha hecho progreso con las modelaciones basadas en la (bio)física, aún los modelos guiados por datos y los sistemas basados en el conocimiento no son todavía de uso generalizado en nuestro medio (Duque, 2002).



Figura 3. Sistemas hidroyinformáticos.

Vale la pena aclarar que aunque se ha comentado acerca de la hidroyingeniería y la hidroyinformática, también existe una contraparte denominada hidroyciencias, es decir, el conjunto de ciencias como la filosofía, matemáticas, física, etc que soportan las actividades propias de esta nueva disciplina (Obregón, 2001). En este contexto, la hidroyinformática se basa principalmente en cuatro

disciplinas científicas: ciencia de la ingeniería, matemáticas, física y ciencias de los computadores. El beneficio agregado real de esta sinergia demanda una integración cercana de estas cuatro disciplinas para desarrollar nuevos métodos, técnicas, procesos, modelos y herramientas basados en nuevos conocimientos y experiencia que son propios de una nueva disciplina: hidroyinformática. Lo anterior justifica la introducción de la hidroyinformática como parte de la hidroyingeniería además de otras disciplinas como la hidrología y la hidráulica!! tal y como lo cita (Molkenthin, 2000). Que este es el caso se puede observar esquemáticamente en la figura 4.

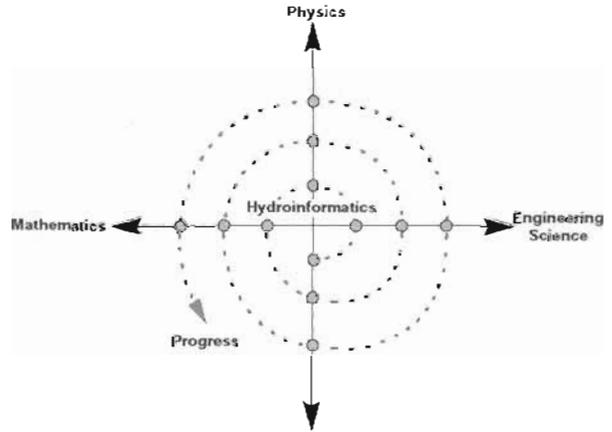


Figura 4. Esquema de la evolución de la hidroyinformática (Fuente: Molkenthin, 2000).

En el marco de la hidroyinformática los sistemas inteligentes representan una parte importante de las tecnologías modernas para el siglo 21. El progreso acelerado en la tecnología computacional proporciona un soporte importante para implementar la inteligencia artificial en las diversas aplicaciones del mundo real, utilizando tecnologías inteligentes tales como (Kosko 1992): (i) Sistemas expertos, (ii) Sistemas difusos, (iii) Redes neuronales, (iv) Algoritmos genéticos; y (v) Aproximaciones de teoría del caos, entre otras. Todas estas aproximaciones anteriores trabajan con varios tipos de bases del conocimiento. De esta forma el control inteligente se define la disciplina en la cual se desarrollan algoritmos de

control que emulan ciertas características de los organismos biológicos inteligentes. Básicamente hay tres paradigmas del control inteligente (Delgado, 1998): las redes neuronales, los sistemas difusos y los algoritmos genéticos. Las redes neuronales (RN), las cuales fueron introducidas al principio de la década de los 40 representan una tecnología inteligente muy importante que utiliza el conocimiento experimental para razonar y resolver problemas específicos. Después de muchos años de desarrollos, las RN han alcanzado el estado donde ellas pueden ser usadas en problemas prácticos, las cuales son generalmente precedidos por proyectos pilotos (Haykin, 1994). De igual forma los algoritmos genéticos (AG) son una técnica de optimización (matemática) y se pueden aplicar a cualquier problema que requiera encontrar un máximo o un mínimo. Así por ejemplo los AG en hidroinformática han encontrado varias aplicaciones en los procesos de calibración de modelos y de entrenamiento de RN. Finalmente, Los sistemas difusos, se definen como sistemas basados en reglas que utilizan lógica difusa para emular el razonamiento de un humano experto en una tarea específica, la persona y el sistema difuso manejan información real, inexacta y contaminada por ruido. Ejemplos de aplicación de estos paradigmas de la inteligencia artificial en la hidroinformática se encuentran ampliamente documentados. Ver por ejemplo (<http://www.stowa-nn.ihc.nl/index.html>).

COMPLEJIDAD EN HIDROINFORMÁTICA

El mundo real es altamente complejo. Los hidrosistemas son siempre complejos. Rasgos de heterogeneidad, anisotropía y condiciones no estacionarias ratifican este hecho. Tal complejidad surge de la incertidumbre en forma de ambigüedad y de nuestra limitación por no poder realizar mediciones completas espacial y temporalmente. Tal y como lo cita el Dr. Zadeh en su *Principio de Incompatibilidad*, cuando se refiere a la complejidad

y ambigüedad (imprecisión) que están correlacionadas: "Mientras uno más cerca mira a los problemas del mundo real, más difusa se encuentra su solución" (Zadeh, 1973). Mientras más aprendemos acerca de nuestros hidrosistemas, su complejidad disminuye y nuestro entendimiento aumenta. Cuando la complejidad se disminuye, la precisión ejecutada por métodos computacionales llegan a ser más útiles en la modelación de los hidrosistemas. La figura 5 condensa las anteriores ideas. Allí se refleja que para hidrosistemas con poca complejidad (poca incertidumbre) las expresiones matemáticas, tales como aquellas obtenidas a partir de la aplicación de las leyes de conservación de la física, proporcionan descripciones precisas de los mismos.

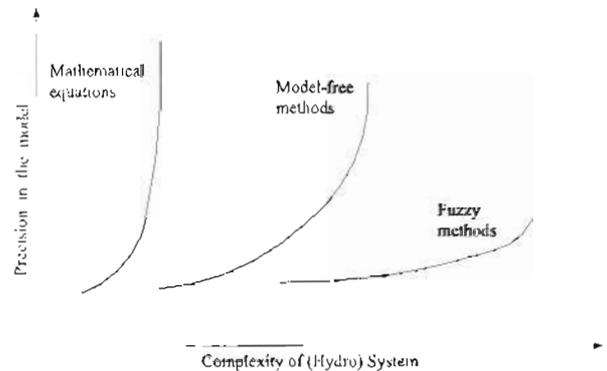


Figura 5. Complejidad de un (hidro)sistema vs. precisión en el modelo del sistema, adaptado: T. Ross. "Fuzzy Logic With Engineering Applications. Mc. Graw Hill, New York, 1997

Por otra parte, para hidrosistemas que son un poco más complejos, pero para los cuales volúmenes significantes de datos existen, los modelos basados por ejemplo en redes neuronales, proporcionan medios robustos y poderosos para reducir la incertidumbre a través del aprendizaje basado en los patrones de entrada y salida de los registros disponibles. Considere el caso por ejemplo, de la modelación del proceso lluvia-escurrimiento en donde la complejidad de las cuencas a través de la interacción clima-suelo-biota dificulta su estudio. Aquí la predicción de los escurrimientos producidos por eventos de

tormentas podría ser aproximada en la medida que les “enseñemos a las cuencas” utilizando los registros de hietogramas con sus respectivos valores de hidrogramas obtenidos para eventos en el pasado. Finalmente, para los hidrosistemas complejos, como por ejemplo el manejo de la calidad del agua en un cuenca, donde usualmente poca información existe y donde solamente información ambigua y vaga podría ser disponible a través de los expertos, el razonamiento difuso a través de la lógica difusa podría proporcionar la forma de aproximar tales hidrosistemas.

A la luz de las anteriores ideas se observa una posibilidad enorme de aplicación de las herramientas de los sistemas inteligentes como las redes neuronales artificiales y la lógica difusa en la aproximación de la inherente complejidad de los hidrosistemas. Y si se tiene en cuenta que una gran proporción del nuevo paradigma de la hidroinformática lo conforman estos paradigmas, entonces se está haciendo referencia a las posibilidades hidroinformáticas. De otra parte, es evidente que parte de nuestras limitaciones en el estudio de los hidrosistemas se debe a la insuficiente capacidad de entendimiento de las relaciones ecohidrológicas y ecohidráulicas que tienen lugar en los mismos, es decir a las modelaciones que emanan del nuevo paradigma de la ecolhidrología (UNESCO, 1997). Será entonces, que se requiere otro paradigma: la ecohidroinformática?

UN EJEMPLO ILUSTRATIVO DE APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Con el objeto de ilustrar una de las herramientas más populares en el campo de la hidroinformática, se presenta en esta sección la forma en que éstas podrían emplearse en la predicción de caudales mensuales. Considera la figura 6 en donde se he representado el problema relacionado con el procesos lluvia-escorrentía mensual. Desde el

punto de vista físico, el problema se centra en encontrar una función de transferencia entre la entrada forzante, en este caso la precipitación $P(t)$ y la excitación del hidrosistemas (cuenta) representada por el caudal $Q(t)$ observado sobre un punto de control. Este puede ser considerado como el “sueño” del hidrocientífico en el sentido de poder encontrar una función (preferiblemente basada en la física) que permite convertir la lluvia en caudal y que en su parametrización funcional matemática se pueda establecer relaciones con gran parte de los parámetros que representan la cuenca, como por ejemplo los de naturaleza geomorfológica del Área, longitud, pendientes, etc.

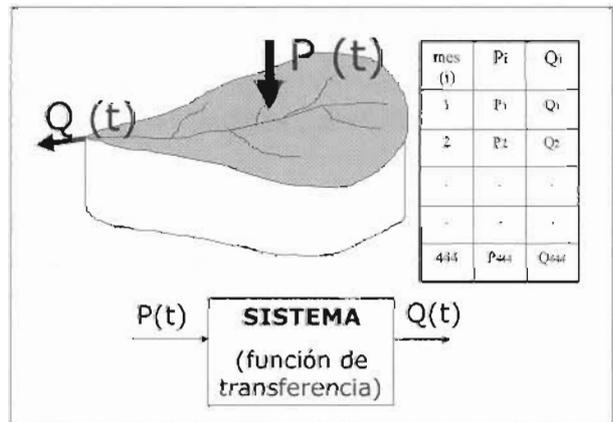


Figura 6. Esquemización sistémica del proceso lluvia-escorrentía a nivel mensual

En la figura 7 se esquematiza el problema matemático planteado. Se trata entonces, de predecir el caudal el tiempo $t+m$, es decir, m representa el orden de la predicción. El modelo planteado sugiere un esquema regresivo para la predicción en donde el caudal Q en el tiempo $t+m$ deberá estar influenciado por los valores de los caudales y de la precipitación del presente y del pasado hasta uno órdenes de regresión de p_Q y p_P , respectivamente. Estos valores enteros a su vez pueden ser establecidos tanto heurística como estadísticamente. En este último caso mediante descriptores estadísticos de correlación lineal o empleando descriptores no lineales como los derivados de la función mutua promedio (AMI:

"Average Mutual Información"). En general se trata de encontrar un función (mapa o ecuación de diferencias) que mapee la relación de entradas con la salida deseada. Para el caso que se ilustra en la figura 8 se ha empleado un orden de regresión p de seis (6) similar para las dos variables. En esta figura 8 se ha representado esquemáticamente la forma como se deben prepara los patrones que se utilizarán tanto en el proceso de calibración, como en el de validación del modelo de la red neuronal artificial (RNA). Este primer paso denominado "generación de patrones" representa el compromiso del modelador respecto a lo que impondrá a la RNA para que mapee, al fin y al cabo estas son consideradas como excelentes interpoladores universales.

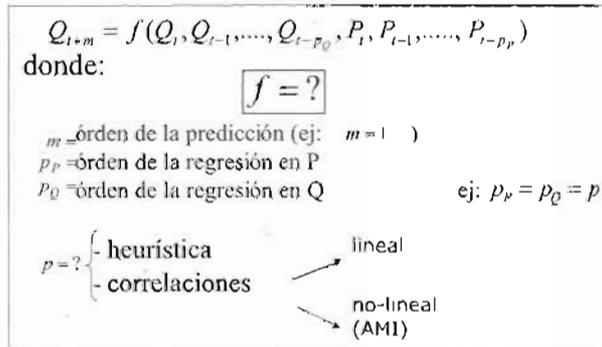


Figura 7. Representación esquemática del problema matemático para un modelo de RNA regresiva que procura predecir el caudal empleando registros de precipitación y de descarga

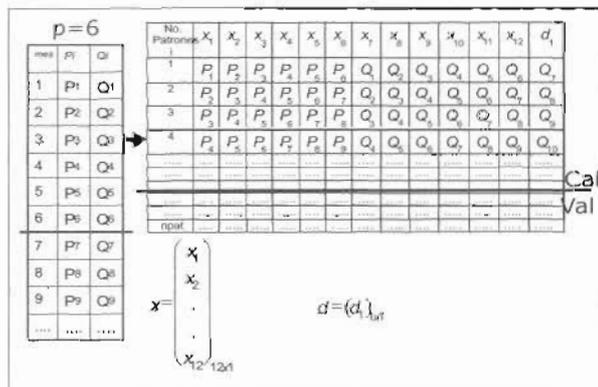


Figura 8. Representación esquemática del proceso de generación de patrones en el modelo de RNA para el problema de predicción de caudales

En la figura 8 se ha representado la tabla resultante de la generación de patrones. Las variables de entrada son representadas por la letra x_i ($i=1..12$) o mediante el vector columna X con su respectiva salida deseada. Cada uno de estos patrones será presentado a la RNA con el objeto de "enseñarle" a esta para que capture las relaciones de entrada y salida. Obsérvese que la idea es partir esta tabla en dos registros de tal forma que el primero de ellos sea empleado en el proceso de calibración (o entranamiento) y el segundo para la validación del modelo. Detalles operativos y matemáticos adicionales de normalización y optimización matemática no son incluidas en este trabajo por razones de espacio, así como los resultados obtenidos para algunos casos de estudio que los autores han adelantado para algunas cuencas de la Sabana de Bogotá (ver por ejemplo Obregón & Fragala, 2002). De todas formas se ha pretendido con este ejemplo aclarar una de las formas más comunes en las que la RNA puede ser empleada en el problema predictivo de variables hidroclimatológicas.

COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se ha proporcionado un marco conceptual en torno a los sistemas inteligentes en el marco de la ingeniería civil y sobre todo los problemas encontrados en la nueva disciplina de la hidroinformática. Se espera que las definiciones y los esquemas en torno de la importancia de estas temáticas en el estudio de los hidrosistemas encuentre eco y se generalice cada vez más su uso entre los ingenieros civiles, hidrólogos y en general profesionales y científicos de las geociencias.

REFERENCIAS

ABBOTT, M. *Hydroinformatics: information technology and the aquatic environment*, Avebury Technical, Aldershot 1991.

DELGADO, A. *Inteligencia artificial y minirobots*, Ecoe Ediciones, Bogotá, 1998.

DUQUE, C. *Estudio de la hidroinformática en Colombia*, Proyecto de Grado Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2002.

Grupo de Informática en Ingeniería Civil de TU Delft, http://www.cti.ct.tudelft.nl/Research/oz_prog.html, 2001.

HAYKIN, S. *Neural network. A comprehensive foundation*, Macmilan Publishing, London, 1994.

HOPGOOD, A. *Intelligent systems for engineers and scientists*, CRC Press, London, 2000.

KOSKO, B. *Neural networks and fuzzy systems; A dynamical system approach to machine intelligence*. Prentice Hall, New Jersey (USA), 1992.

MOLKENTHIN, F. *WWW Based Hydroinformatics Systems*, Brandenburg University of Technology at Cottbus. <http://www.bauinf.tu-cottbus.de/Structure/Staff/Frank/Books/habilitation/>, 2000).

OBREGÓN, N. *Principios de hidroinformática urbana*, Seminario Internacional de Hidrología Urbana, Bogotá, Universidad Javeriana, 2001.

OBREGÓN, N. y FRAGALÁ, F. *Predicción de caudales medio mensuales en la Estación La Pradera mediante RNA*, II Congreso Colombiano y I Encuentro Andino de Inv. de Operaciones, Bogotá, septiembre 12-14, 2002.

PENROSE, R. *The Emperor's New Mind*, Oxford University Press, 1989.

PRICE, R. *Hydroinformatics, society and the market*, Inaugural address at IHE Delft, 1997.

ROSS, T. *Fuzzy logic with engineering applications*, Mc. Graw Hill, New York, 1997.

SINCAK, P.M.; BUNDZEL, M.; SOKAC, D.; SZTRUHÁR and MARSÁLEK, J. *Urban runoff prediction by neural networks*. Hydroinformatics'98 International Conference, Babovic & Larsen eds., Balkema, Rotterdam, 1998.

UNESCO - INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME. *Ecohydrology: a new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*, edited by Zalewski M., Janauer G.A., Jolankai G., Paris, 1997.

ZADEH, L. *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, IEEE Trans., Syst. Man. Cybern., Vol. SMC-3, 1973, pp. 28-44.