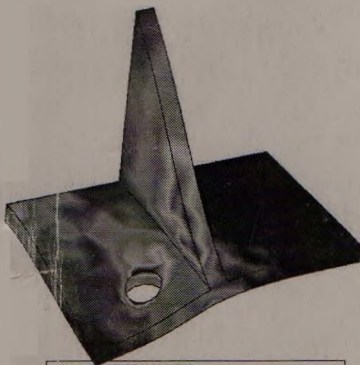


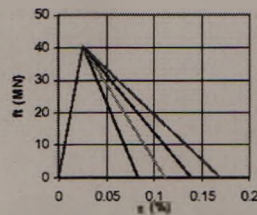
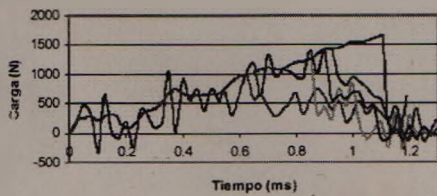
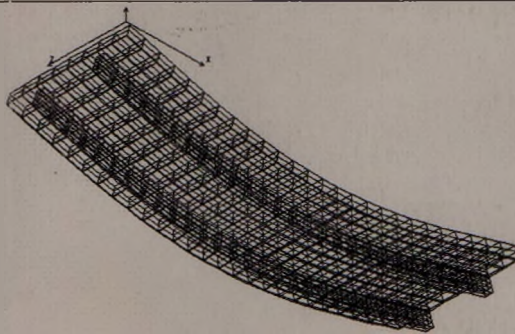


**Universidad Nacional del Nordeste**  
**Facultad de Ingeniería**  
**U.N.N.E. – Resistencia - Chaco**  
**10 al 12 de Noviembre de 2004**



Contour Plot of NODAL V. MISES  
Deformation (MID): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

# 2<sup>DA</sup> JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



— Cf = 2160 N/m    — Cf = 3240 N/m    — Cf = 5400 N/m  
— Cf = 4250 N/m (DF)    — Ens. Laboratorio

— Cf = 2160    — Cf = 3240  
— Cf = 5400    — Cf = 4250

## **Utilización de un modelo de redes neuronales en la obtención de la curva de descarga de la obra de control del río Negro en Laguna Blanca**

BRAVO, Juan M. – PILAR, Jorge V. – DEPETTRIS, Carlos A

Lugar de Trabajo: Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNNE. Avda. Las Heras 727, Resistencia (H3500COI), Chaco, Argentina. Tel.: (03722) 425064 – Int. 142.

E-mail: jumabra@yahoo.com.ar - jpilar@ing.unne.edu.ar - cdepettris@ing.unne.edu.ar

### **INTRODUCCIÓN**

Las redes neuronales artificiales se presentan como un nuevo modelo empírico (o del tipo “caja negra”) que permite aproximar cualquier función.

Las redes neuronales aprenden a través de ejemplos. El número necesario de ejemplos con los cuales se obtiene una correcta representación del fenómeno modelado es indeterminado. Existen recomendaciones empíricas que establecen la relación entre el número de ejemplos y el número de parámetros, pero que no tienen en cuenta el principio de parsimonia, de importancia fundamental al modelar cualquier fenómeno.

Al no ser un modelo conceptual, es difícil definir el número adecuado de parámetros.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al utilizar un esquema de redes neuronales para la obtención de la curva de descarga de la obra de control del río Negro en Laguna Blanca.

La obra de control del río Negro en Laguna Blanca esta emplazada a 40km aguas arriba de la desembocadura de este río e integra el sistema de defensas contra inundaciones del Área Metropolitana del Gran Resistencia, una conurbación con más de 370.000 habitantes.

Esta obra de control cumple la función de derivar hacia el río Salado la escorrentía generada por la cuenca alta y media del río Negro, atenuando la onda de crecida que se propaga hacia la ciudad de Resistencia, capital de la provincia del Chaco.

Dicha obra está compuesta por tres partes fundamentales: el embalse, el descargador de fondo y el canal derivador hacia el río Salado.

Como parte de su rutina de monitoreo de los cursos de agua de la provincia, la Administración Provincial del Agua (APA) realiza permanentes aforos en esta obra. Los resultados de los ejecutados entre julio de 1998 y abril de 2000 fueron utilizados para verificar las curvas altura-caudal formuladas en el proyecto del descargador de fondo.

El contraste de los valores aforados con las curvas de funcionamiento indicadas en el proyecto mostró que para aperturas inferiores a 0,80m y/o caudales menores que 15 m<sup>3</sup>/s, esas curvas de funcionamiento subestiman el caudal erogado por la obra, mientras

que para aperturas de compuerta superiores a 0,80m las curvas de funcionamiento mencionadas sobrestiman el caudal.

#### REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos que intentan imitar el funcionamiento del cerebro humano (Bittencourt, 1998). El cerebro es un sistema de procesamiento de información altamente complejo, no lineal y paralelo.

Las redes neuronales artificiales son sistemas de ecuaciones, en general no lineales, interconectadas, en los que el resultado de una ecuación es el valor de entrada de otras encadenadas a ella a través de la red (Kovács, 1996).

Son consideradas como aproximadores universales de funciones y, por lo tanto, tendrían la capacidad de conseguir reproducir el comportamiento de cualquier función matemática. Que ello suceda depende del correcto montaje de la red (Galvão & Valença, 1999). Esta capacidad fue la que las hizo populares rápidamente como una herramienta de tipo “caja negra” para modelar relaciones entre variables.

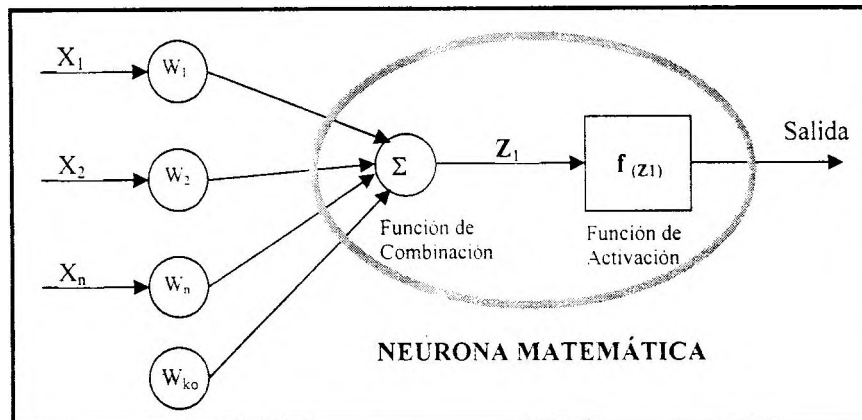


Figura 1 Esquema de una neurona matemática

Una red neuronal artificial es un sistema constituido por elementos de procesamiento interconectados llamados neuronas, los cuales están dispuestos en capas (una de entrada, una o varias intermedias y una de salida) y que son responsables por la no-linealidad de la red, a través del procesamiento interno de ciertas funciones matemáticas.

Estas redes se organizan y calibran a partir de alguna forma de aprendizaje que es responsable por la modificación de los pesos sinápticos en cada ciclo de iteración de acuerdo con los ejemplos que le son presentados (Caudill, 1993). Las redes neuronales artificiales aprenden por ejemplos (Rabuske, 1995). En la figura 1 se presenta un

esquema de neurona matemática, constituida por una función de combinación y una función de activación.

## **METODOLOGÍA**

La arquitectura de la red neuronal puede tener un impacto significativo en su desempeño en una aplicación determinada (Galvão & Valença, 1999).

La optimización de una red neuronal consiste en la optimización de su arquitectura y, básicamente, en la determinación del número de capas ocultas y del número de neuronas en las mismas. Esto es realizado, en general, de forma empírica ya que no existen reglas que permitan su determinación a priori.

Fueron testeados tres programas de uso público y gratuito: Qnet V2.1, Neural planner V4.52 y Easynnplus V 4.0., todos ellos en sus versiones "trial".

Los resultados obtenidos con los dos últimos fueron mejores que con el empleo de Qnet V2.1 en lo que respecta a valores de los errores obtenidos. El tiempo de simulación también resultó mayor con el empleo de Qnet V2.1.

Easynnplus (2002-2004) es la última versión del Neural Planner (1993-1997), por lo cual los resultados fueron similares. La ventaja de ese programa es que posee un entorno gráfico mucho más amigable, con un mayor número de opciones a disposición del usuario y, además, lo que es de gran importancia para este tipo de trabajos, entrega los valores de los pesos y "bias" corregidos, datos no disponibles en la versión "trial" del Neural Planner. Por ello, aquí son presentados los resultados obtenidos con el empleo del programa Easynnplus.

Como son conocidos los valores de los pesos y de "bias", sólo es necesario armar la red que opere "hacia adelante" y ello puede ser realizado con planillas de cálculo como la Excel, utilizando las expresiones empleadas por el programa específico.

## **DEFINICIÓN DEL ESQUEMA DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL**

En función de los valores aforados se plantearon dos alternativas para obtener las curvas de descargas buscadas.

En la alternativa 1, se consideró la capa de entrada compuesta por tres neuronas, que representan los valores de: nivel de embalse, nivel de la descarga y la apertura de compuerta; la capa de salida posee una sola neurona, que entrega el valor del caudal descargado.

El número de capas ocultas y su correspondiente número de neuronas fue determinado por un prueba y error, a través sucesivos procesos de simulación de diferentes esquemas, cuyos resultados fueron comparados con los aforos disponibles. El esquema con el menor número de parámetros (pesos) con el cual se obtuvo resultados aceptables está compuesto por una capa oculta con 7 neuronas. El esquema general de la red neuronal se presenta en la figura 2 y tiene, entonces, formato 3 x 7 x 1.

En la alternativa 2, la capa de entrada está compuesta por dos neuronas, siendo los valores de entrada, la relación entre el tirante de agua en el embalse y la apertura de compuerta ( $Y_1/b$ ) y la relación entre el tirante de agua en la descarga y la apertura de

compuerta ( $Y_3/b$ ). La capa de salida también está compuesta por una sola neurona que entrega el valor del coeficiente de descarga.

Empleando la misma metodología, el esquema con el menor número de parámetros (pesos) con el cual se obtuvo resultados aceptables tiene el formato  $2 \times 7 \times 1$  y es presentado en la figura 3.

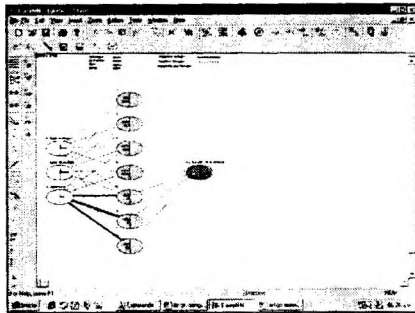


Figura 2 Esquema de redes neuronales Alternativa 1

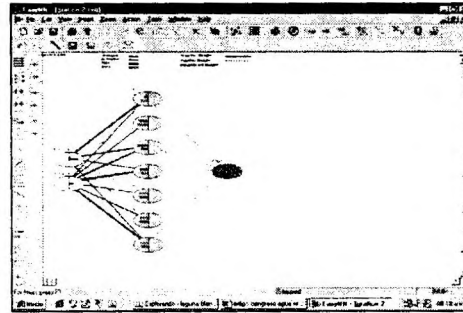


Figura 3 Esquema de redes neuronales Alternativa 2

## RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos con ambos modelos (alternativas), con el empleo de la red de neuronas implementada a través de la planilla de cálculo.

Tabla 1 Resultados obtenidos con redes neuronales artificiales

N°	ALTERNATIVA 1						ALTERNATIVA 2				
	Escala embalse	Escala descarga	Apertura comp (cm)	Q Aforado ( $m^3/s$ )	Q Cálculo ( $m^3/s$ )	Error(%)	$Y_3/b$	$Y_3/b$	Cd aforado	Cd calculo	Error (%)
1	54,50	50,68	18,00	5,61	5,66	0,89	33,89	12,94	0,543	0,541	-0,30
2	54,40	50,31	18,00	6,27	5,72	-8,77	33,33	10,89	0,612	0,624	2,04
3	54,17	51,07	36,00	10,16	9,91	-2,46	16,03	7,56	0,505	0,455	-9,94
4	53,32	51,41	54,00	18,68	18,40	-1,50	9,11	5,67	0,671	0,669	-0,25
5	53,55	50,77	36,00	11,32	11,03	-2,56	14,31	6,72	0,596	0,593	-0,48
6	53,20	51,20	72,00	19,41	19,11	-1,55	6,67	3,96	0,529	0,478	-9,66
7	53,15	51,05	54,00	10,07	9,83	-2,38	8,8	5,00	0,368	0,401	8,98
8	51,74	49,24	6,00	1,51	1,51	0,00	55,67	14,83	0,592	0,585	-1,21
9	54,01	49,76	18,00	5,20	5,28	1,54	31,17	7,83	0,524	0,513	-2,19
10	53,72	51,57	96,00	21,12	20,45	-3,17	5,54	3,35	0,410	0,404	-1,50
11	54,55	51,79	96,00	25,07	25,40	1,32	6,41	3,58	0,453	0,408	-9,90
12	53,98	51,64	96,00	21,35	21,16	-0,89	5,81	3,43	0,405	0,407	0,53
13	53,54	51,69	114,00	26,00	25,87	-0,50	4,51	2,93	0,433	0,396	-8,46
14	53,62	51,02	66,00	16,27	16,12	-0,92	7,91	4,05	0,464	0,435	-6,25
15	54,00	51,70	96,00	21,14	21,94	3,78	5,83	3,49	0,400	0,415	3,71
16	54,00	52,07	152,00	32,50	32,44	-0,18	4,24	2,82	0,447	0,406	-9,26

17	54,45	51,93	96,00	23,32	23,24	-0,34	6,3	3,73	0,425	0,442	4,08
18	54,60	51,80	96,00	25,60	25,55	-0,20	6,46	3,59	0,461	0,415	-9,89
19	54,56	52,00	120,00	27,77	27,74	-0,11	5,13	3,04	0,401	0,388	-3,23
20	54,60	51,50	50,00	12,10	12,08	-0,17	12,4	6,3	0,418	0,441	5,52
21	54,39	52,10	120,00	29,81	29,81	0,00	4,99	3,13	0,436	0,397	-9,04
22	54,15	52,20	138,00	29,78	29,82	0,13	4,17	2,79	0,387	0,399	3,10
23	53,00	51,05	66,00	15,07	15,07	0,00	6,97	4,09	0,458	0,485	5,94
24	52,94	50,13	30,00	7,09	7,13	0,56	15,13	5,93	0,477	0,463	-2,93
25	52,76	50,34	42,00	7,96	7,97	0,13	10,38	4,74	0,390	0,366	-6,23
26	52,77	49,65	22,00	4,03	4,00	-0,74	19,86	5,91	0,377	0,351	-6,85
27	54,46	51,65	66,00	21,88	21,91	0,14	9,18	5,00	0,579	0,533	-7,96
28	54,17	51,86	84,00	20,35	21,68	6,54	6,87	4,18	0,434	0,466	7,45
29	54,12	51,92	84,00	20,83	20,87	0,19	6,81	4,25	0,446	0,405	-9,17

En las figuras 4 y 5 se presentan la comparación de los resultados de ambos modelos, entre los valores aforados y los valores calculados con el empleo de redes neuronales.

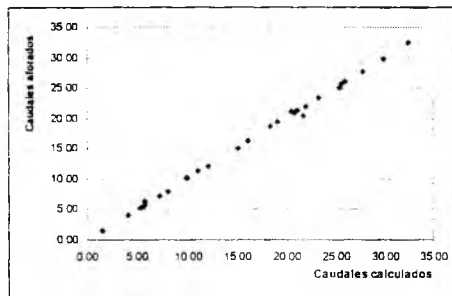


Figura 4 Comparación de caudales aforados y calculados. Alternativa 1.

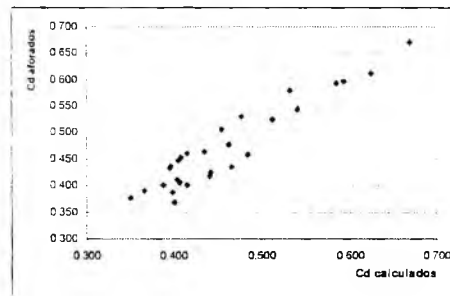


Figura 5. Comparación de Coeficientes de Descarga aforados y calculados. Alternativa 2.

En función del esquema de redes neuronales calibrado y validado, se obtuvieron las curvas de descarga indicadas en las figuras 6 y 7. En la figura 8 se presenta, a título de ilustración, las curvas definidas por Henry para la estimación de coeficientes de descarga de este tipo de dispositivos hidráulicos.

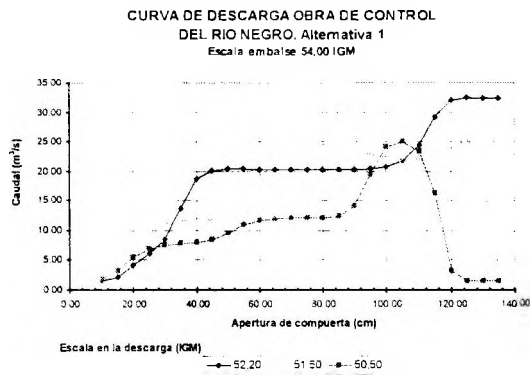


Figura 6 Curvas de descarga estimadas. Alternativa 1.

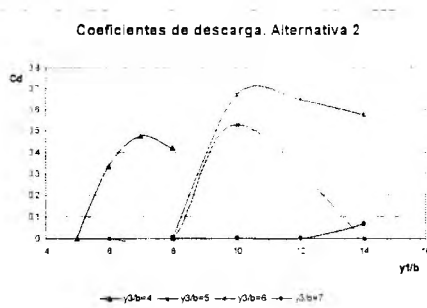


Figura 7 Curvas de descarga estimadas. Alternativa 2.

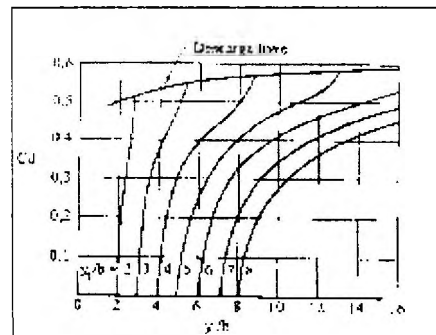


Figura 8 Curvas de descarga para descargador de fondo. Henry.

## DISCUSIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Al no ser un modelo conceptual, es difícil definir un número razonable de parámetros que permitan una buena generalización del fenómeno. En este trabajo se mantuvo el número de parámetros siempre inferior al número de ejemplos y, pese a que se obtuvieron una calibración y validación "muy buenas", como se aprecia en la buena correlación existente en las figuras 4 y 5, se mostraron "torpes" a la hora de generalizar las predicciones: las curvas estimadas tienen un comportamiento errático y sin sentido (figura 6) y no tienen correspondencia alguna con las que podrían ser consideradas curvas esperadas (figura 7).

Por lo tanto, se puede considerar que a través del esquema de redes neuronales artificiales montado no se pudo generalizar el fenómeno modelado (curvas de descarga) en función del número de ejemplos existente.

### **RECOMENDACIONES**

Profundizar los estudios para definir el número de parámetros razonables en un esquema de redes neuronales.

En fenómenos complejos, la utilización de un esquema de redes neuronales podría no ser adecuada, salvo que se tengan muchos ejemplos pero, ¿cómo percibimos en la simulación la existencia de datos suficientes para describir un fenómeno para el que ni siquiera conocemos cual sería el comportamiento esperado? En los artículos científicos consultados se realiza la calibración y validación de la red, pero no se presenta un análisis posterior para ver si los resultados de la generalización son tan buenos o siquiera tan esperables como los de la validación.

Los modelos de tipo "caja negra" pueden producir una cierta euforia por los buenos resultados obtenidos durante la calibración y validación. Sin embargo, si el fenómeno es complejo, la generalización podría ser decepcionante.

### **BIBLIOGRAFÍA**

BITTENCOURT. 1998. *Inteligência artificial: ferramentas e teorias*. Florianópolis: Ed. da UFSC. 362 p.

CAUDILL. 1993. *Neural networks primer*. San Francisco: Miller Freeman Inc. 80 p.

GALVÃO, VALENÇA (organizadores). 1999. *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos y ciencias ambientales*. Porto Alegre: ABRH Editora de Universidade UFRGS. 246 p.

KOVÁCS. 1996. *Redes neurais artificiais*. San Pablo: OESP Gráfica S.A. 163 p.

RABUSKE. 1995. *Inteligência artificial*. Florianópolis: Ed. da UFSC. 240 p.