

MODELO DEL RÍO BRAVO EN RIVERWARE

EQUIPO ESPECIALIZADO DE MODELACIÓN
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Introducción

En atención al correo electrónico enviado por el Presidente del Consejo de Cuenca, Lic. Ramón Morga Saravia, el cual versa lo siguiente:

- 2. Hay dos puntos cruciales que tenemos que tener precisos y, para comprender mejor el modelo matemático, nos gustaría tener mayor información de esa Subdirección General Técnica:***
 - a. Explicar con mayor detalle el proceso de construcción de curvas de funcionamiento de año seco (FAS).***
 - b. Explicar la metodología (de las consideradas) que se empleará para la generación de series de tiempo sintéticas de escurrimientos naturales; también, el periodo que se plantea generar y la forma en que se usarán estas series de tiempo en el modelo. Finalmente, es importante conocer el producto que se espera de esta actividad.***

A continuación se presentan la información solicitada:

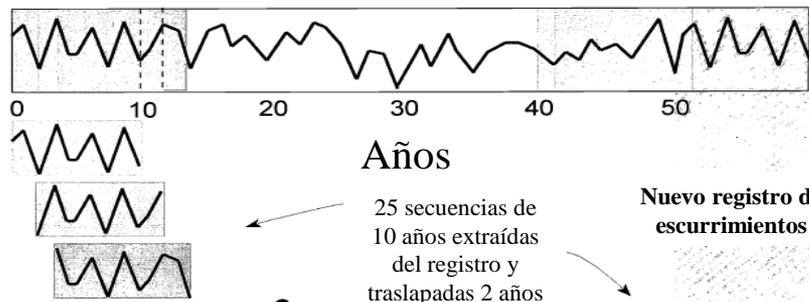
REGISTROS SINTÉTICOS Y PERIODOS EXTENDIDOS DE TIEMPO

Metodología para la generación de registros sintéticos

Se consideraron dos metodologías de generación de registros sintéticos.

1. Indexed Sequential Method, ISM:

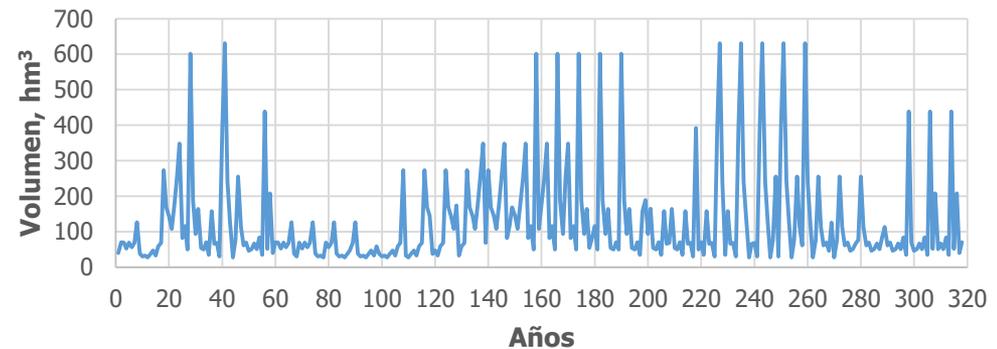
Registro histórico de escurrimientos*



Total de Años $T = 57$ años
 Periodo de la Secuencia $N = 10$ años
 Índice de Traslape $k = 2$ años
 Nuevo Registro:
 $NT/k = (10 \times 57)/2 = 285$ años

*Extraído de Taha *et al.*, 1997

EN SC 12.Inflow: Registro Sintético ISM



DESVENTAJAS:

- La necesidad de contar con registros históricos extensos para generar muestras confiables.
- Crea dependencia estadística en las secuencias (debido a la estructura de traslape del método), generando patrones y restando aleatoriedad.

Metodología para la generación de registros sintéticos

Se consideraron dos metodologías de generación de registros sintéticos.

2. AutoRegressive Moving Average, ARMA(1,1):

Modelo ARMA (Salas et al. 1980):

$$y(t) = \beta_1 y(t-1) + \beta_2 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde:

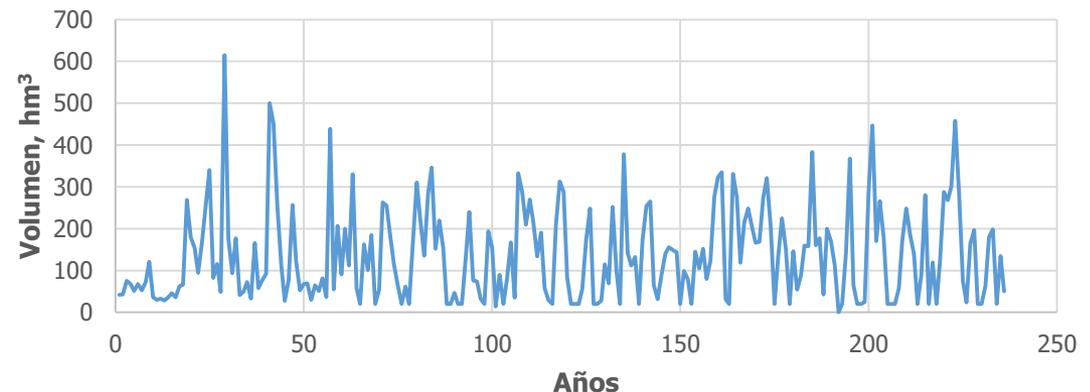
$y(t)$ = Registros sintéticos por t tiempo

β_1 = Parámetro auto-regresivo

β_2 = Parámetro de auto-correlación

ε_t = Componente aleatoria

EN SC 12.Inflow:
Registro Sintético ARMA(1,1)



Subcuenca	β_1	β_2
12	0.252608089	0

El método ARMA(1,1) reproduce en forma satisfactoria la aleatoriedad del registro histórico y al mismo tiempo mantiene las características estadísticas del fenómeno analizado.

Desagregación mensual de los registros sintéticos generados

Metodología basada en el **Esquema de Simulación Condicional de los Vecinos Más Cercanos** (Mehrotra & Sharma, 2006).

EJEMPLO. Para una subcuenca cualquiera (SC_n) en un año t , se obtiene un escurrimiento sintético con la metodología ARMA de **44 hm³** para un año específico. Para poder relacionar ese valor anual con una distribución mensual, se analiza el registro histórico para relacionar el volumen sintético anual con la distribución de su año mas cercano y sus vecinos.

Año	Volumen hm ³ /año	Distribución Mensual											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1970	43.30	0.048	0.027	0.021	0.019	0.004	0.429	0.065	0.021	0.216	0.062	0.009	0.074
1998	44.06	0	0	0	0	0	0	0.010	0.430	0.480	0.031	0.047	0
1995	44.56	0	0	0	0	0	0.120	0.037	0.193	0.332	0.064	0.251	0

Una de las tres opciones se selecciona de manera **ALEATORIA**.

REGISTROS SINTÉTICOS Y PERIODOS EXTENDIDOS DE TIEMPO

Demandas y retornos

Consideraciones generales

Simplificación de las demandas de usuarios pequeños:

1. Los usuarios pequeños que no sean Domésticos y estén cerca de un distrito de riego tendrán demandas proporcionales al Distrito de Riego tomando en cuenta su valor de demanda igual a su volumen de concesión como el 100%.

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Autorización anual del DR}}{\text{Concesión del DR}}$$

$$\text{Demanda del usuario pequeño} = \text{Porcentaje} * \text{volumen de concesión}$$

2. Los usuarios pequeños que no están en proximidad con un DR tendrán demandas iguales a la media histórica.

Consideraciones generales

Simplificación de las demandas de usuarios pequeños:

3. Todos los usos domésticos serán considerados con su valor máximo histórico, después de ser proyectados a mediano plazo.

Flujos de retorno:

1. Mantener la correlación entre usos y retornos mediante el uso de los valores definidos en el modelo de calibración.

REGISTROS SINTÉTICOS Y PERIODOS EXTENDIDOS DE TIEMPO

Adecuaciones prácticas en RiverWare: Slots y Reglas

Consideraciones generales

Registros sintéticos:

- 280 años de datos serán copiados desde un archivo Excel a un elemento de: Aggregated series table.
- Una regla de inicialización copiará los datos a los objetos "Reach" correspondientes.

Demandas pequeñas:

- Se modificará una regla para copiar las demandas en porcentaje o la media dependiendo el caso (ver "Demandas y Retornos").

Flujos de retorno:

- El método para la ingesta de tasas de retorno al modelo (actualmente tipo "Input") será adaptado a uno de tipo periódico para que considere diferentes periodos de modelación.

REGISTROS SINTÉTICOS Y PERIODOS EXTENDIDOS DE TIEMPO

Periodo de tiempo para los registros

Definición del periodo de modelación

Mediante la metodología ARMA(1,1) se generaron datos en múltiplos de la longitud de la serie original (en este caso, los 59 años de escurrimientos restituidos). El número de años a usar en la serie sintética estará función de la convergencia de los indicadores en el modelo dinámico base, es decir:

$$\text{Cuando } IDAR_n - IDAR_{n-1} \rightarrow \varepsilon$$

En donde *IDAR* se define como el conjunto de indicadores calculados para una corrida con *n* número de años simulados y ε es un valor de tolerancia.

En estricto sentido, el valor de ε debe tender a cero, sin embargo su valor real estará definido por el grado de aproximación de los resultados que no comprometa el costo computacional (tiempo de simulación).

CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE AÑO SECO (FAS)

Consideraciones generales

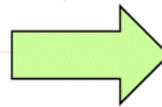
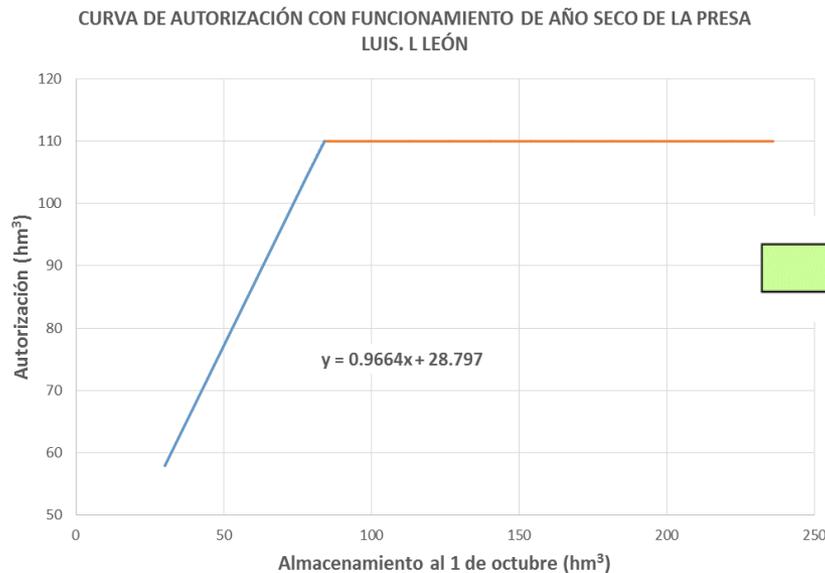
El método que CONAGUA emplea para la autorización de volúmenes se basa en el **funcionamiento de vaso con entradas históricas de año seco**, es decir los volúmenes asociados a una probabilidad de excedencia del 98%. Las principales consideraciones del método se describen a continuación:

- a) El análisis se realiza para el ciclo agrícola (octubre – septiembre y para el caso de presas internacionales noviembre – octubre).
- b) Las entradas por cuenca propia de la presa consideran los volúmenes del año seco (98% de probabilidad).
- c) La evaporación se considera como pérdida y se calcula a partir de funciones con escala mensual, que correlacionan el volumen de almacenamiento y el volumen de evaporación, con base en los datos históricos de la presa.
- d) Las extracciones de los Distritos de Riego consideran una distribución mensual de los porcentajes de riego que caracterizan a cada distrito.
- e) En caso de contar con asignación para uso público – urbano, se asegura el volumen para dos años de funcionamiento (el año de evaluación y el siguiente)

Desarrollo del algoritmo

El algoritmo desarrollado evalúa de forma iterativa el valor de autorización anual tomando la concesión como valor autorizado inicial y realiza el funcionamiento hasta definir el valor máximo que garantiza las extracciones de las presas sin generar algún tipo de déficit.

Para el caso simple (una sola presa con usuarios) se obtiene una función de una variable que puede ser caracterizada con un ajuste de curva.



Rule Editor - "Reglas Modelo Base v1_4_1 (Ajuste en presas internacio..."

```

DR090 AsignacionAnual
RPL Set Loaded

AsignacionPresas.Asign_Anuual_DR090 [ ]
= IF ( GetMonth ( @"t" ) == 10.00000000 ) THEN
  IF ( P Luis L Leon.Storage [ @"t - 1" ] >= 84,161,530.15301530 "m3" ) THEN
    110,000,000.00000000 "m3"
  ELSE
    0.96640000 * P Luis L Leon.Storage [ @"t - 1" ] + 28,797,000.00000000 "m3"
  END IF
ELSE
  AsignacionPresas.Asign_Anuual_DR090 [ @"t - 1" ]
END IF
  
```

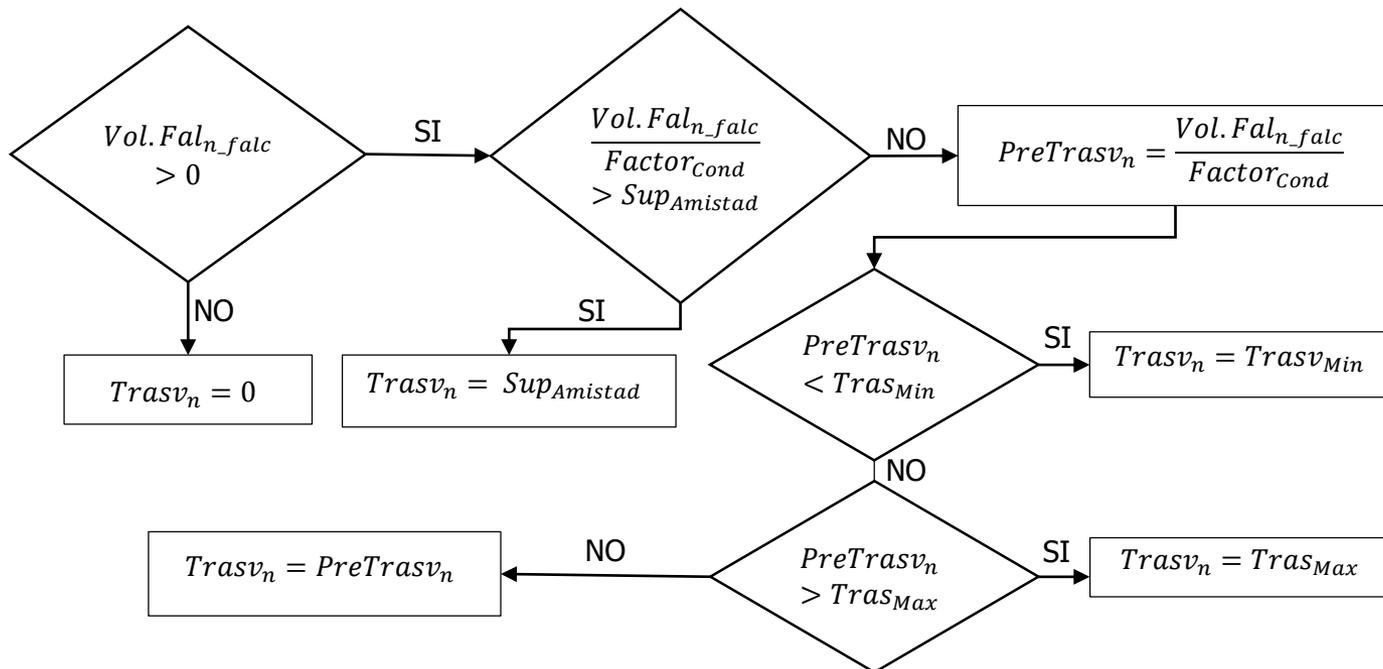
Show: Execution Constraint Description Notes Comments

Sistema Amistad – Falcón

En adición a las consideraciones de las curvas FAS simples, la curva FAS para el sistema Amistad – Falcón considera volúmenes de trasvase, así como múltiples usuarios.

Trasvases: $Sup_{Amistad} = Ai_{Amistad} - NAMINO_{Amistad} - UPU_{Amistad} - AtAn_{DR050} - AtAn_{DR006}$ (1)

$Vol\ Fal_{n_falc}$
 $= NAMINO_{falc} - Ai_{n_falc} + AtAn_{026} \cdot \Sigma_n^{n+2} DstM_{n_{026}} + AtAn_{025} \cdot \Sigma_n^{n+2} DstM_{n_{025}} + 3 \cdot UPU_{falc} - \Sigma_n^{n+2} EntAS_n$ (2)



Sistema Amistad – Falcón

Usuarios del DR 026

La autorización anual del DR026 depende de un porcentaje del volumen disponible de riego en Falcón.

$$AtAn_{DR026} = \frac{(Conc_{DR026})}{(Conc_{DR026} + Conc_{DR025})} \cdot Vol. Disp. Riego_{falc}$$

$$Vol. Disp. Riego_{falc} = Sup_{Amistad} \cdot Ef + Ai_{falc} - NAMINO_{falc} - UPU_{falc}$$

Sistema Amistad – Falcón

Usuarios de los DR 050 y DR 006 (Módulo Balcones)

Se obtuvo un factor de proporcionalidad entre el volumen disponible para riego y la autorización, con datos de los últimos ciclos agrícolas. A partir de este valor se calculó el volumen disponible para riego mínimo necesario para autorizar la concesión. A este volumen se le denomina como el “Valor superior”.

La autorización anual de ambos distritos se calcula a partir de la concesión total, el volumen disponible para riego en Amistad y el valor superior calculado:

$$AtAn_{DR050 y DR006} = (Concesión_{DR050 y DR006}) \cdot \left(\frac{Volumen\ disponible\ para\ riego}{Valor\ superior} \right)$$

Algoritmos FAS Amistad-Falcón

Uso Publico Urbano (UPU)

	GMD (m3/s)	Vol Mes (hm3)	Vol Anual (hm3)
UPU Amistad	3.0	7.884	94.608
UPU Falcon	8.0	21.024	252.288
			346.896

Volúmenes en hm3

DR 025 concesion	1183	
DR 026 concesion	45.82	
DR 006 concesion	5.68	37.38
DR 050 concesion	31.7	

Volúmenes en hm3

VolSupAsignacionAmistaad	990.79
--------------------------	--------

Volúmenes en hm3

NAMO Amistad	1769.66
NAMO Falcon	1351.63
NAMINO Amistad	36.80
NAMINO Falcon	14.50

Volúmenes en hm3

limite Sup. Traslavase	200
Limite Inf. Traslavase	200

Cálculos iniciales (Volumen en hm3)

Vol Disp Riego Amistad	673.422
Superavit para trasvase Amistad	648.015
Possible autorización DR050	21.546
Possible autorización DR006	3.861

Cálculo para el DR026

Concesion DR 026 + DR025	1228.82
DR025 %	0.96
DR026 %	0.04
Disp de Amistad en Falcon	583.21
Vol Disp Riego Falcon	125.12
VolSistemaDispRiegoFalcon	708.34
Possible autorización DR026	26.41

Possible autorización DR025

Possible autorización DR025	722.03
-----------------------------	--------

Amistad

Vol disp trasvase	Mes	Alm Inicial	Ingreso	UPU	Trasvase	DR 050	DR 006	Evap	Alm Final
648.02	Noviembre	804.83	24.09	7.88		0.00	0.00	6.71	814.33
648.02	Diciembre	814.33	28.04	7.88		0.57	0.10	4.52	829.30
648.02	Enero	829.30	21.56	7.88	200.00	1.93	0.35	5.21	635.49
448.02	Febrero	635.49	25.62	7.88	200.00	2.04	0.37	5.58	445.24
248.02	Marzo	445.24	27.69	7.88	200.00	7.15	1.28	6.41	250.20
48.02	Abril	250.20	26.37	7.88		4.99	0.89	5.53	257.28
48.02	Mayo	257.28	29.55	7.88		2.49	0.45	6.17	269.84
48.02	Junio	269.84	23.92	7.88		1.70	0.30	7.77	276.10
48.02	Julio	276.10	49.78	7.88	48.02	0.45	0.08	8.85	260.60
0.00	Agosto	260.60	36.57	7.88		0.23	0.04	6.83	282.19
0.00	Septiembre	282.19	39.48	7.88		0.00	0.00	5.45	308.33
0.00	Octubre	308.33	21.59	7.88		0.00	0.00	4.67	317.37
		354.26	94.61	648.02	21.55	3.86	73.69		

Falcon

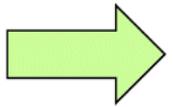
Mes	Alm Inicial	Ingreso	UPU	Trasvase	DR 026	DR 025	Evap	Alm Final	Vol sistema
Noviembre	391.91	15.73	21.02	0.00	0.00	0.00	8.13	378.49	1192.82
Diciembre	378.49	7.05	21.02	0.00	1.81	50.54	6.17	305.99	1135.29
Enero	305.99	7.18	21.02	180.00	8.85	137.19	3.82	322.29	957.78
Febrero	322.29	10.90	21.02	180.00	0.00	21.66	4.26	466.25	911.49
Marzo	466.25	28.52	21.02	180.00	5.67	173.29	6.57	468.23	718.43
Abril	468.23	0.00	21.02	0.00	8.73	231.05	9.96	197.47	454.75
Mayo	197.47	20.67	21.02	0.00	1.36	86.64	7.74	101.37	371.21
Junio	101.37	22.52	21.02	0.00	0.00	21.66	4.85	76.35	352.45
Julio	76.35	0.00	21.02	43.22	0.00	0.00	4.91	93.63	354.23
Agosto	93.63	1.58	21.02	0.00	0.00	0.00	4.89	69.30	351.49
Septiembre	69.30	2.43	21.02	0.00	0.00	0.00	4.31	46.39	354.72
Octubre	46.39	24.68	21.02	0.00	0.00	0.00	1.84	48.21	365.57
	141.26	252.29	583.22	26.41	722.03	67.45			

```

Editor
File Edit View Debug Run Help
FAS_Amistad_Falcon.m
1 % #####
2 % "CÁLCULO DE LA ASIGNACIÓN DE AGUA EN EL SISTEMA AMISTAD-FALCÓN
3 % CON BASE EN LAS POLÍTICAS ACTUALES DE MANEJO"
4 %
5 % Versión: 1.0 (12 de octubre de 2017)
6 % Versión: 2.0 (19 de octubre de 2017)
7 %
8 % Objetivo: El código realiza el funcionamiento de vaso para un año
9 % con entradas secas, evaluando diferentes almacenamientos
10 % en ambas presas, y la combinación de estos como sistema
11 % con el fin de autorizar el máximo volumen disponible de la
12 % concesión al DR 025 Bajo Rio Bravo y tomando en cuenta
13 % el uso Público Urbano y los otros usuarios de riego.
14 %
15 % Características:
16 % - Se consideran las entradas por año seco para ambas presas
17 % - La evaporación se calcula en función del almacenamiento y
18 % del mes en análisis
19 % - Para la presa La Amistad se consideran las salidas de uso
20 % industrial y municipal (gasto diario de 3 m3/s) y el riego
21 % del DR 050 Acuña-Falcón (31.7 hm3 de concesión) y del Módulo
22 % Balcones del DR 006 (5.68 hm3 de concesión), la asignación
23 % del DR 050 y 006 se realiza en función del nivel inicial de
24 % almacenamiento en las presas al inicio del análisis
25 % - Para la presa El Falcón se consideran las salidas de uso
26 % industrial y municipal (gasto diario de 8 m3/s) y el riego
27 % del DR 026 Bajo Rio San Juan (45.82 hm3 de concesión), la
28 % autorización del DR 026 se realiza en función del nivel
29 % almacenado en las presas al inicio del análisis
30 %
31 %
32 % | ACTUALIZACIÓN DE LA VERSIÓN 2.0
33 % | Se busca mejorar la forma en que se determina el Uso Público Urbano
34 % | que depende de Falcón y la asignación para el DR026. Actualmente el
35 % | DR025 puede tener mucha agua mientras que los otros 2 casi nada
36 % | cuando en la presa Falcon existen almacenamientos bajos.
37 % |
38 % #####
39 tic
40 clear all
41 clic
42 NAMOAMISTAD = 1769.66;
43 NAMINOAMISTAD = 36.8 ; %Capacidad muerta de la propiedad mexicana de Amistad
44 NAMOFALCON = 1351.63;
45 NAMINOFALCON = 14.5;
46
47 % AlmFalcon = linspace(NAMOFALCON,NAMINOFALCON,100)';
48 % AlmAmistad= linspace(NAMOAMISTAD,NAMINOAMISTAD,100)';
49
50 AlmFalcon = 443.11;
51 AlmAmistad = 356.11;
52
53 ObraTomaAmistad = 262;
54 LimiteOTTraslavase = 200;
55
56 EntrSecoFalcon = [15.73 7.05 7.18 10.9 28.52 0 20.67 22.52 0 1.58 2.43 24.68]';
57 EntrSecoAmistad = [24.09 28.04 21.56 25.62 27.69 26.37 29.55 23.92 49.78 36.57 39.48 21.59]';
58
59 CoefEvapFalcon = [0.00000000 0.00000000 0.01064334 4.19054136

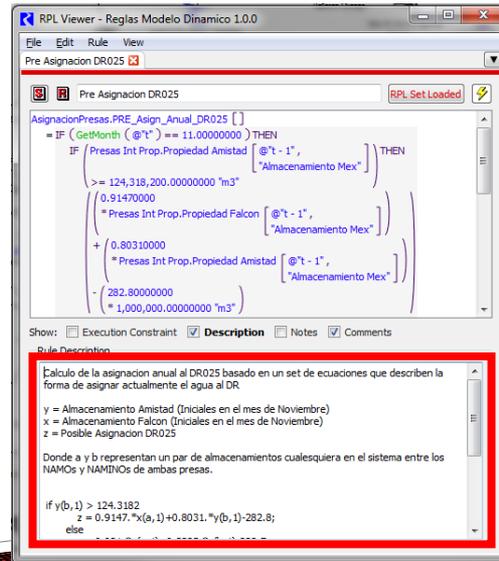
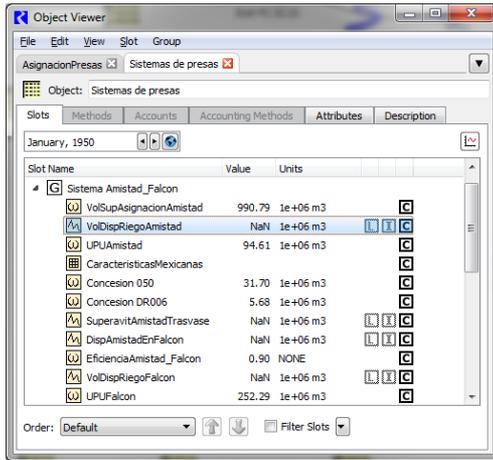
```

Algoritmo en archivo .xlsx

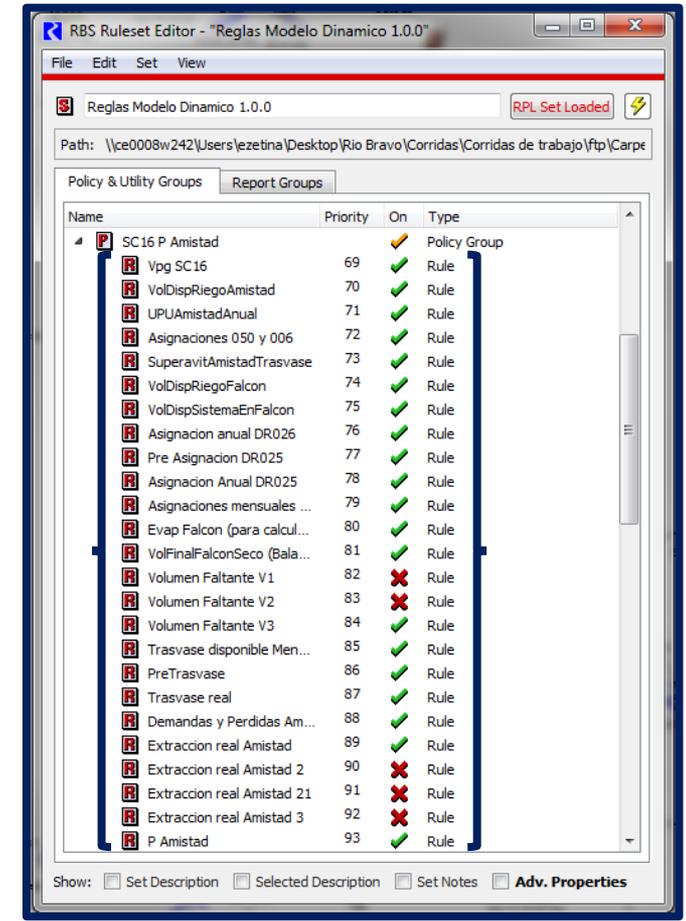
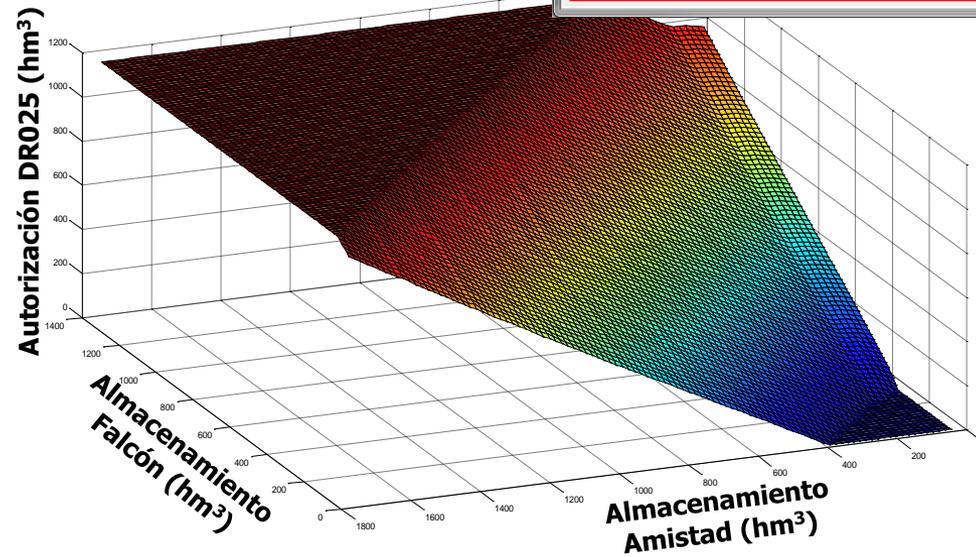


Algoritmo en archivo .m

Implementación en RiverWare



Para mantener la correspondencia entre el algoritmo y todos los productos que éste genera, se diseñó un conjunto de reglas en RiverWare.



Las funciones que caracterizan a la superficie FAS, involucran implícitamente los procesos programados en los algoritmos.

Pasos para el Reglamento

No.	Acción	Fechas propuestas/Comentarios
1	Elaboración y conclusión del algoritmo de distribución	Concluir el proceso de discusión el 21 de septiembre de 2018 mediante sesión del Grupo de Modelación y Simulación de Escenarios (GEM)
2	Proceso de elaboración formato jurídico	Concluir el proceso de discusión a más tardar el 21 de septiembre de 2018 para su presentación en el GEM
3	Conclusión de la propuesta del formato jurídico y Aprobación del Reglamento por el Consejo de Cuenca	Se propone una Sesión Extraordinaria del Consejo de Cuenca para el día Jueves 4 de octubre de 2018
4	Validación jurídica del Reglamento (SGJ)	Enviar a la SGJ el día 5 de octubre de 2018
5	Validación del Proyecto de Decreto por SEMARNAT	
6	Elaboración MIR (SGT-SEMARNAT)	
7	Aprobación MIR (COFEMER)	
8	Publicación proyecto Decreto en el Portal de Transparencia (SGT)	
9	Dictamen de impacto presupuestario (SGJ-SGA)	
10	Enviar expediente completo a SEMARNAT	
11	Refrendo	
12	Revisión Jurídico Presidencia	
13	Publicación DOF	

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

EQUIPO ESPECIALIZADO DE MODELACIÓN
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

ANEXOS

Rango de aplicabilidad del modelo

Las reglas de operación para el Reglamento deben ser generales, es decir **se deben ejecutar en los rangos de normalidad del sistema.**

Para casos extremos deberán existir reglas que complementen a las reglas generales, las cuales se incluirán en los artículos transitorios y serán parte del trabajo futuro de este grupo.

