

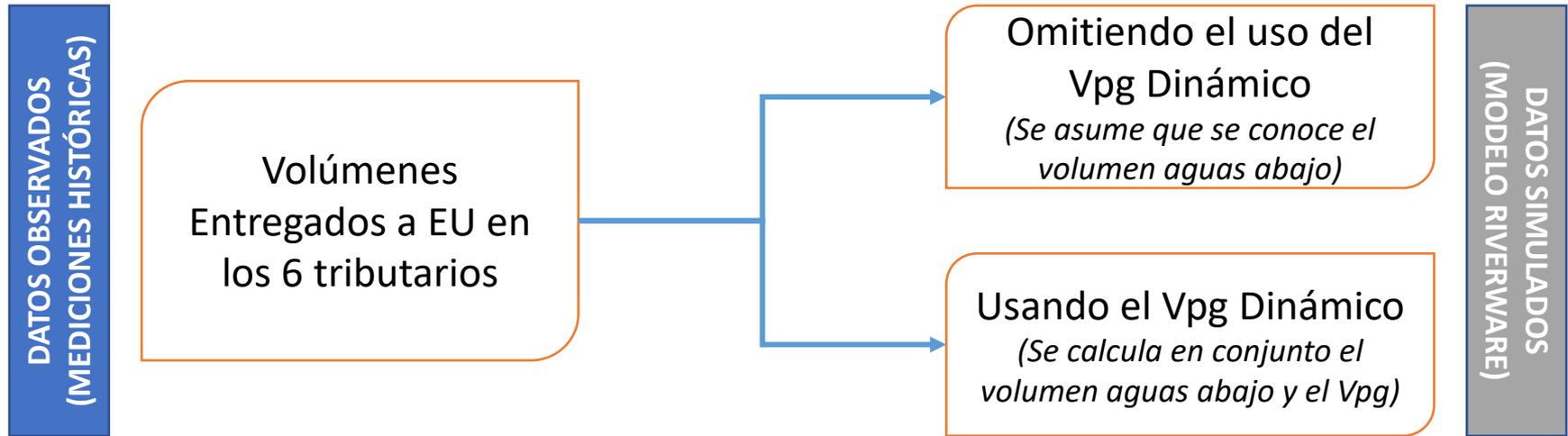
MODELO DEL RÍO BRAVO EN RIVERWARE

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Contenido

- Evaluación de volúmenes en los 6 tributarios de la cuenca
- Medidas de bondad de ajuste para la calibración de modelos hidrológicos
- Construcción del Escenario Base
- Metodología e Indicadores de Evaluación
- Otros temas de interés

Evaluación de volúmenes en los 6 tributarios de la cuenca



La evaluación se realiza en los 59 años de modelación y permite:

- Comparar el volumen entregado en los 6 tributarios de manera individual
- Comparar el volumen global entregado al Tratado de 1944

MS EXCEL

Resumen de resultados

Concepto de análisis	GLOBAL	
	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.
SUMA TOTAL DEL VOLÚMEN HISTÓRICO	24537.682	
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO SIN Vpg DINÁMICO	23145.080	94%
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO CON Vpg DINÁMICO	23953.450	98%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (HISTÓRICO)	40.828	
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (SIN VPG DINAMICO)	38.511	94%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (CON VPG DINAMICO)	39.856	98%

-808.37 hm³

-583.55 hm³

-2.317 hm³

-0.972 hm³

Concepto de análisis	OJINAGA		LAS VACAS		SAN DIEGO	
	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.
SUMA TOTAL DEL VOLÚMEN HISTÓRICO	14920.578		339.676		3287.336	
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO SIN Vpg DINÁMICO	12750.733	85%	339.364	100%	3275.408	100%
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO CON Vpg DINÁMICO	13279.795	89%	339.364	100%	3275.408	100%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (HISTÓRICO)	21.104		0.480		4.650	
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (SIN VPG DINAMICO)	18.035	85%	0.480	100%	4.633	100%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (CON VPG DINAMICO)	18.783	89%	0.480	100%	4.633	100%

-2169.845 hm³

-1640.783 hm³

-3.069 hm³

-2.321 hm³

Concepto de análisis	SAN RODRIGO		ESCONDIDO		SALADO	
	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.	Volumen Hist. (hm ³)	% con respecto al Volumen Hist.
SUMA TOTAL DEL VOLÚMEN HISTÓRICO	2217.885		1101.458		6249.608	
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO SIN Vpg DINÁMICO	2218.894	100%	1101.358	100%	6890.014	110%
SUMA TOTAL DEL MODELO CALIBRADO CON Vpg DINÁMICO	2220.266	100%	1101.358	100%	7278.067	116%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (HISTÓRICO)	3.137		1.558		8.840	
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (SIN VPG DINAMICO)	3.138	100%	1.558	100%	9.745	110%
PROMEDIO MENSUAL DE ENTREGA (CON VPG DINAMICO)	3.140	100%	1.558	100%	10.294	116%

640.406 hm³

1028.459 hm³

0.905 hm³

1.454 hm³

Modelos matemáticos para la simulación

La finalidad de un modelo es **simular fenómenos que ocurren en la realidad**; para esto, es importante identificar el origen de las variables que se introducen en el modelo:

- **Datos observados.** Propios de la medición en campo de las diferentes variables hidrometeorológicas que se consideran en el modelo.
- **Datos de ingreso.** Son aquellos que se calculan mediante algún método antes de la modelación (p.ej. precipitación media, tasas de evaporación, etc.) e introducidos al modelo.
- **Parámetros optimizados.** Parámetros del modelo calculadas a través de un proceso de optimización.

Las diferencias entre el modelo y la realidad **se minimizan durante el proceso de calibración.**

Medidas de bondad de ajuste para la calibración de modelos hidrológicos

La calibración es el proceso por el cual, se identifican **los valores óptimos de los parámetros del modelo**, para los cuales **la serie de datos simulados se ajusta a la serie de datos observados**.

La calibración de los modelos usualmente se apoya en la cuantificación de **la bondad de ajuste del modelo**. Estas medidas de bondad resumen la discrepancia entre los valores observados y los simulados.

PRESENTADOS EN EL TALLER DEL 1 Y 2 DE OCTUBRE

Error medio (EM)
Error medio absoluto (EMA)
Error medio cuadrático (EMC)
Coefficiente de eficiencia de Nash (E)
Índice de concordancia Wilmot (d)
Coefficiente de correlación (r de Pearson)
Coefficiente de determinación (r^2)
Índice de concordancia modificado (d1)
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)

Medidas de bondad de ajuste para la calibración de modelos hidrológicos

Error medio (EM)
Error medio absoluto (EMA)
Error medio cuadrático (EMC)
Coefficiente de eficiencia de Nash (E)
Índice de concordancia Wilmot (d)
Coefficiente de correlación (r de Pearson)
Coefficiente de determinación (r^2)
Índice de concordancia modificado (d1)
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)

Criterio de Schultz (D)
Desviación Media Acumulada (MAD)
Error de balance de masas (m)

Existe gran variedad de estimadores estadísticos; su adecuado uso y la información que proporcionan, **brindan un criterio analítico y objetivo para definir la calidad de ajuste del modelo matemático.**

Para el caso de modelos hidrológicos, **6 de los 12 mencionados anteriormente son ampliamente usados** y en la literatura se pueden encontrar los rangos recomendados para definir si el uso de un modelo matemático es o no aceptable.

Error medio (EM)
Error medio absoluto (EMA)
Error medio cuadrático (EMC)
Coefficiente de eficiencia de Nash (E)
Índice de concordancia Wilmot (d)
Coefficiente de correlación (r de Pearson)
Coefficiente de determinación (r^2)
Índice de concordancia modificado (d1)
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)



Resumen de resultados

EH OJINAGA

Error medio (EM)	2.32077
Error medio absoluto (EMA)	6.05745
Raíz Error medio cuadrático (EMC)	14.06598
Coefficiente de eficiencia de Nash (E)	0.89433
Indice de concordancia Wilmot (d)	1.00000
Coefficiente de correlación de Pearson (r)	0.94759
Coefficiente de determinación (r2)	0.89793
Indice de concordancia modificado (d1)	0.99680
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)	0.69019
Criterio de Schultz	0.23425
Desviación media acumulada (MAD)	6.05745
Error de Balances de Masa (EBM)	-10.99678

EH SALADO

Error medio (EM)	-1.45468
Error medio absoluto (EMA)	2.26574
Raíz Error medio cuadrático (EMC)	7.86247
Coefficiente de eficiencia de Nash	0.91145
Indice de concordancia Wilmot(d)	1.00000
Coefficiente de correlación (Pearson) R	0.96435
Coefficiente de determinación	0.92997
Indice de concordancia modificado(d1)	0.99681
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)	0.80038
Criterio de Schultz	0.23270
Desviación media acumulada (MAD)	2.26574
Error de Balances de Masa (EBM)	16.45638

VALORES DE REFERENCIA

Error medio (EM)	0
Error medio absoluto (EMA)	0
Error medio cuadrático (EMC)	0
Coefficiente de eficiencia de Nash (E)	1
Índice de concordancia Wilmot (d)	1
Coefficiente de correlación de Pearson (r)	1
Coefficiente de determinación (r2)	1
Indice de concordancia modificado (d1)	1
Coefficiente de Eficiencia Modificado (E1)	1
Criterio de Schultz	0
Desviación Media acumulada (MAD)	0
Error de Balances de Masas (EBM)	0

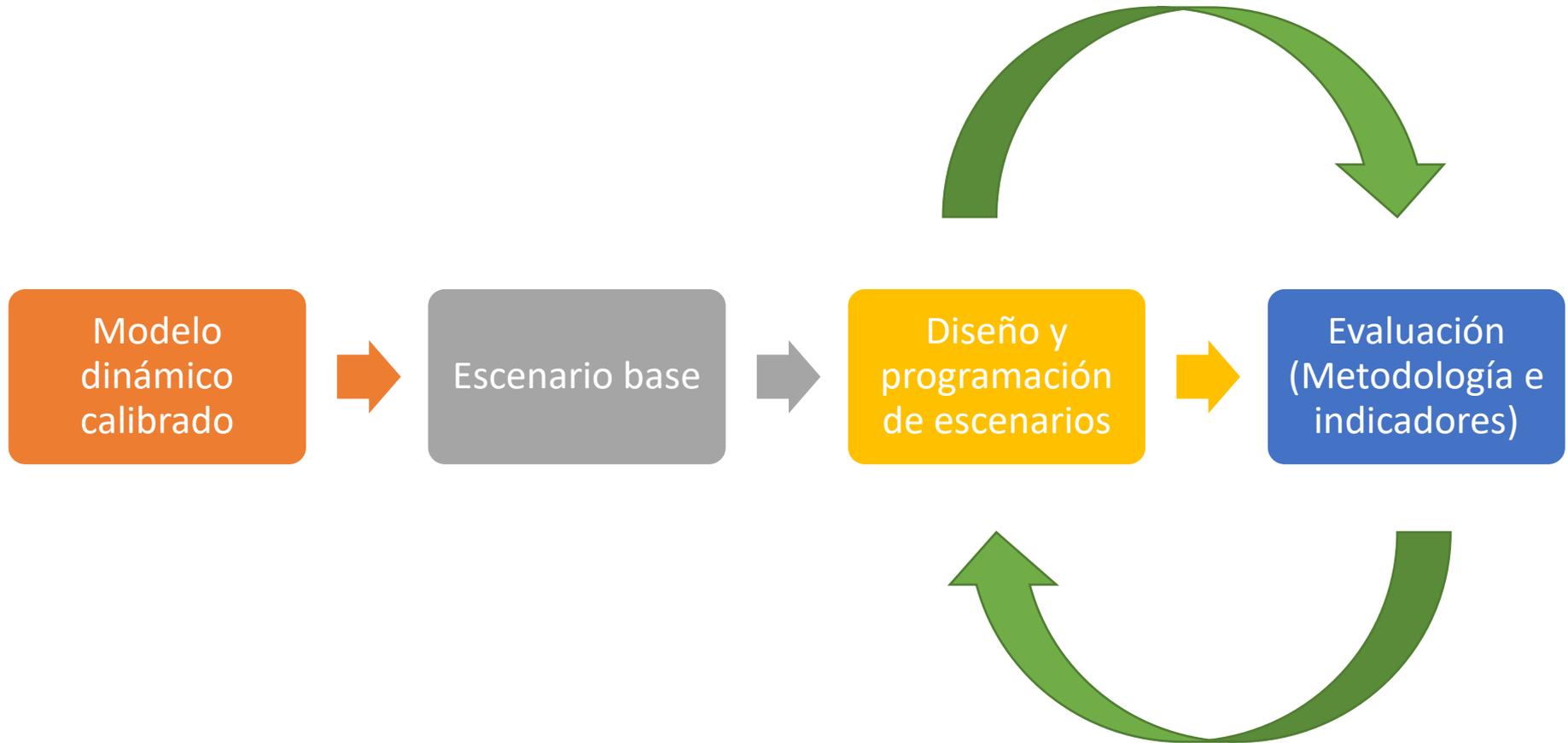
Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 -0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Valores referenciales del Criterio de Schultz.

D	Ajuste
0 - 3	Muy bueno
3 – 10	Bueno
10 – 18	Suficiente
> 18	Insuficiente

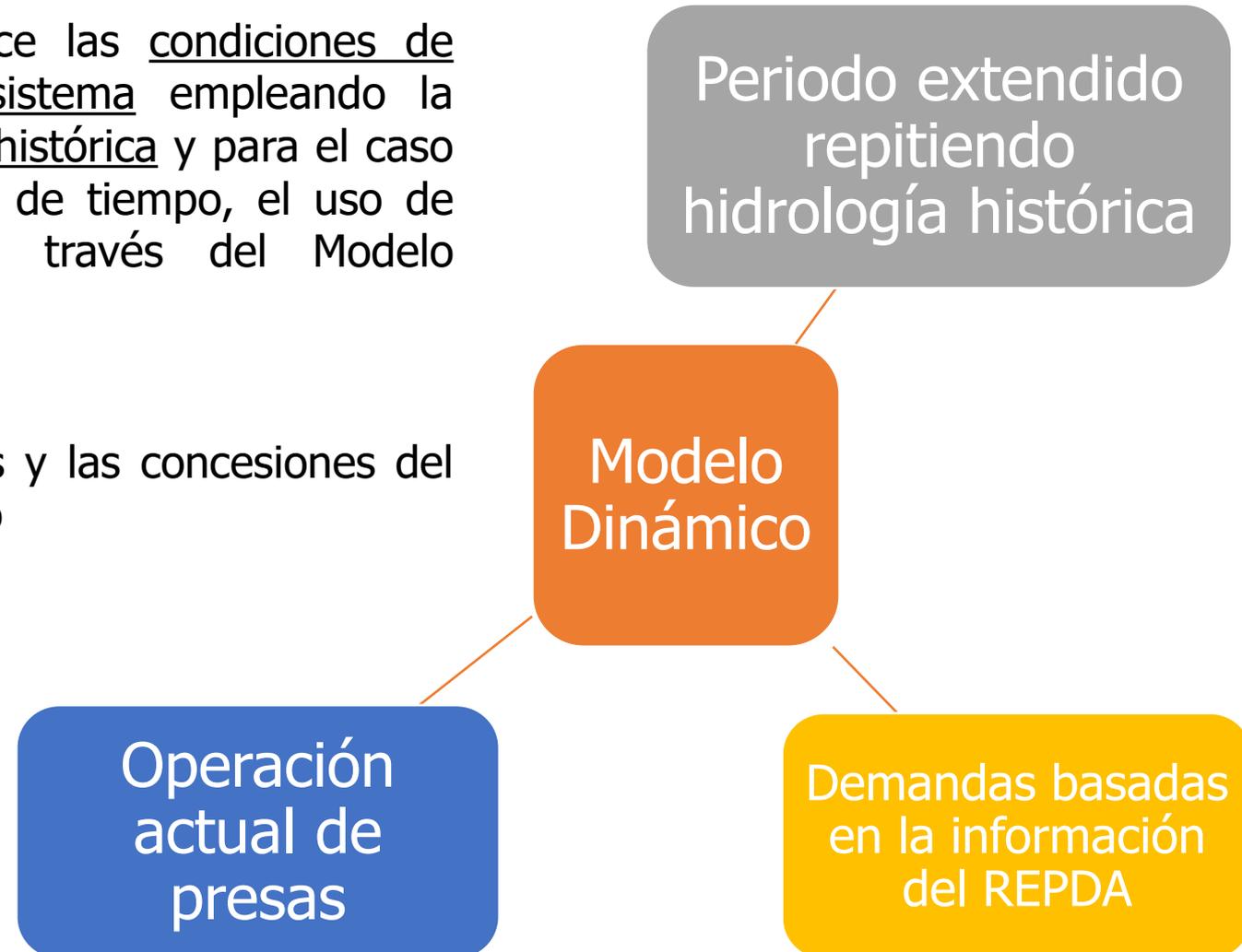
Proceso de modelación para la reglamentación de la cuenca del Río Bravo



Escenario Base

Escenario que reproduce las condiciones de operación actual del sistema empleando la información hidrológica histórica y para el caso de periodos extendidos de tiempo, el uso de registros sintéticos, a través del Modelo Dinámico.

Los periodos extendidos y las concesiones del REPDA están en proceso



Proceso de diseño de una PROPUESTA



- La discusión de reglas de operación para el reglamento se acota a escenarios que mejoran la situación actual del sistema.
- La Propuesta será una variante de un Escenario de Evaluación dado, con el potencial de emplearse como regla de operación en el Reglamento.

Metodología e Indicadores de evaluación

- **Eficiencia de entrega:** Análisis individual que determina el porcentaje de la concesión y la frecuencia con la que se da agua a los usuarios en una modelación de n años.
- **Equidad:** Análisis a nivel sistema que determina la proximidad de las eficiencias de entrega de todos los usuarios con respecto al valor medio de la cuenca.
- **Ganancia neta:** Análisis a nivel sistema que evalúa si la eficiencia neta aumenta o disminuye con respecto a un escenario de referencia.
- **Eficiencia de entrega al Tratado Caso A:** Nivel de cumplimiento en los volúmenes entregados a EU de acuerdo al Tratado de 1944.
- **Eficiencia de entrega al Tratado Caso B:** Nivel de cumplimiento en los volúmenes entregados a EU de acuerdo al Tratado de 1944, manteniendo el volumen al mínimo

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Jueves 8 de noviembre de 2018

ANEXO

MEDIDAS DE BONDAD DE AJUSTE

Error medio cuadrático (EMC).

Permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados, respecto a los observado. El rango de valores va desde 0 hasta el infinito (positivo).

El 0 corresponde a un ajuste perfecto.

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_i)^2}{n}}$$

Coefficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (E). Mide cuánta variabilidad de las observaciones es reproducida por la simulación.

Si la simulación es perfecta E=1.

Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 -0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

$$E = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}}$$

Coeficiente de correlación de Pearson (r).

Mide el grado de relación entre la variable observada y la simulada. Puede tomar valores entre -1 y 1

El valor unitario significa una correlación perfecta y el 0 nulidad en la relación lineal.

$$r = \frac{\sigma_{obs,sim}}{\sqrt{\sigma_{obs}\sigma_{sim}}}$$

Criterio de Schultz (D).

Representa la desviación de los caudales simulados respecto de los observados. Puede tomar valores entre 0 y el infinito positivo.

Si la simulación es perfecta D=0.

Valores referenciales del Criterio de Schultz.

D	Ajuste
0 - 3	Muy bueno
3 - 10	Bueno
10 - 18	Suficiente
> 18	Insuficiente

$$D = 200 \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{sim_i} - Q_i| Q_i}{n(Q_{max})^2}$$

Desviación Media Acumulada (MAD).

Mide el ajuste entre la variable simulada con respecto a la observada. Puede variar entre el infinito negativo y el positivo

El valor 0 indica un ajuste perfecto.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{sim_i} - Q_i|}{n}$$

Error de Balances de Masas (m).

Expresa cuantitativamente en porcentaje, la relación entre el volumen del hidrograma observado y el simulado

El valor 0 indica un ajuste perfecto.

$$m = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

VOLVER 

- Finger, D. (2011). "Calibration of Hydrological Models". Hydrological Processes and Modelling, 2011. Swiss Federal Research Institute WSL. Switzerland.
- Molnar, P. (2011). "Calibration. Watershed Modelling". Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- Zappa, M. (2011). "PREVAH – Calibration and Verification". Hydrological Processes and Modelling. ETH Zürich. Switzerland.