

# Modelo abcd – Simulación de caudales anuales

Juan Cabrera, Civ. Eng.  
Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

## 1. Introducción

El primer paso de todo modelamiento hidrológico es establecer un “modelo perceptual”, es decir, decidir cuáles son los principales procesos y variables que intervienen en la generación de caudales. Esta etapa es absolutamente subjetiva y no está sujeta a restricciones de tipo teórico.

El segundo paso es establecer un modelo conceptual, y esto requiere el uso de ecuaciones que interrelacionen todos los procesos y variables seleccionadas. Dentro de esta definición se enmarca el modelo “abcd”, el cual presenta características de modelo agrupado (no distribuido espacialmente).

Por la simplicidad de sus ecuaciones y poco requerimiento de información, este modelo es usualmente utilizado con fines académicos, lo cual no le quita validez y puede utilizarse para estudiar cuencas pequeñas (Salas et al., 1981).

## 2. Simulación de caudales anuales

El modelo “abcd” es un modelo conceptual precipitación-escorrentía, basado en el balance de agua de una cuenca (Salas, 2002). El modelo utiliza la precipitación como dato de ingreso y todas las demás variables son calculadas como porcentajes de la precipitación.

La Figura 1 muestra el diagrama de una cuenca con los principales procesos hidrológicos que producen escorrentía y que son tomados en cuenta por el modelo. De acuerdo a este esquema,  $P_t$  es la precipitación media de la cuenca,  $SR_t$  es la escorrentía superficial,  $E_t$  es la evapotranspiración actual,  $I_t$  la infiltración,  $DP_t$  la percolación profunda,  $GS_{t-1}$  el almacenamiento subterráneo al inicio del periodo de análisis,  $BF_t$  el flujo base,  $GF_t$  el flujo subterráneo, y  $Q_t$  el caudal a la salida de la cuenca.

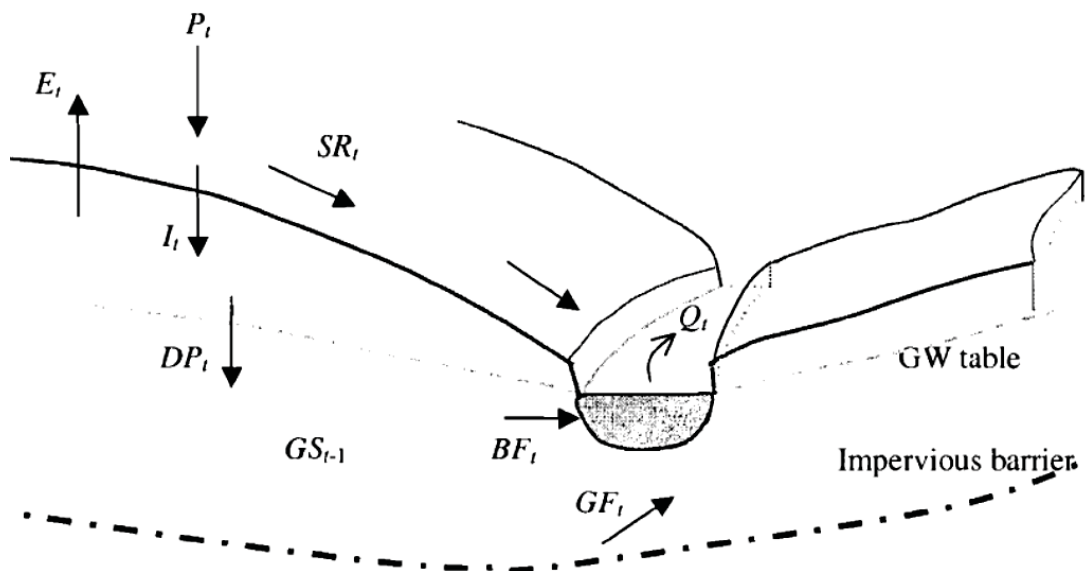


Figura 1 : Esquema de una cuenca natural.  
Fuente: Salas, 2002.

De acuerdo a la Figura 1, la precipitación se divide en escorrentía superficial ( $SR_t$ ) e infiltración ( $I_t$ ); de esta forma, ambas variables pueden ser expresadas en función de la precipitación:

$$\text{Escorrentía superficial} : SR_t = aP_t \quad (1)$$

$$\text{Infiltración} : I_t = (1-a)P_t \quad (2)$$

Una parte de la infiltración es evapotranspirada y la otra parte es percolada; este proceso puede expresarse como:

$$\text{Evapotranspiración} : E_t = bI_t \quad (3)$$

$$\text{Percolación profunda} : DP_t = (1-b)I_t \quad (4)$$

Como se sabe, el almacenamiento subterráneo es la fuente del flujo base y del flujo subterráneo, y este almacenamiento nunca está vacío; por este motivo, el almacenamiento subterráneo debe ser considerado como un parámetro de condición inicial. De esta manera, tenemos que:

$$\text{Flujo base} : BF_t = cGS_{t-1} \quad (5)$$

$$\text{Flujo subterráneo} : GF_t = dGS_{t-1} \quad (6)$$

Asimismo, el almacenamiento subterráneo puede calcularse en cada intervalo de tiempo como:

$$\text{Almacenamiento subterráneo} : GS_t = (GS_{t-1} - BF_t - GF_t) + DP_t \quad (7)$$

Finalmente, el caudal es estimado como la suma de la escorrentía superficial y el flujo base:

$$Q_t = SR_t + BF_t \quad (8)$$

De acuerdo a estas definiciones, el modelo tiene cinco parámetros de calibración: a (relacionado a SR e I), b (relacionado a E y DP), c (relacionado a BF), d (relacionado a GF), y el almacenamiento subterráneo inicial.

La Figura 2 resume la estructura y el proceso de cálculo de caudales para este modelo.

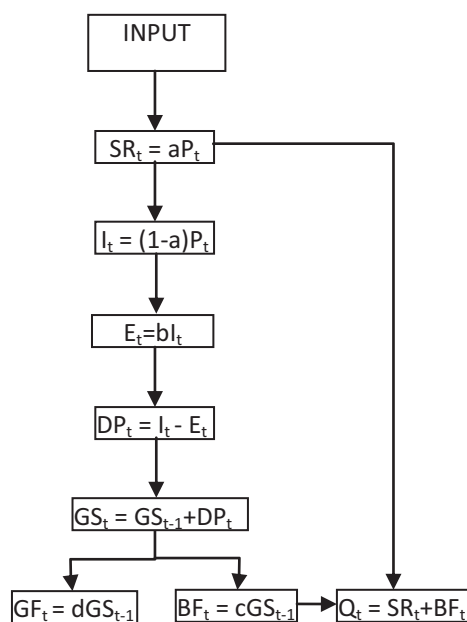


Figura 2 : Estructura del modelo abcd.  
Fuente: Autor.

### 3. Ejemplo de aplicación

El modelo fue aplicado a una Cuenca del Sur de nuestro país para el período 1956-2006. Se usaron series de precipitación total anual de la cuenca y volumen anual (estimado en función del caudal medio mensual). Para el proceso de calibración, se utilizó la herramienta SOLVER de EXCEL. Los parámetros obtenidos son:  $a= 0.1271$ ;  $b= 0.7512$ ;  $c= 0.4176$ ;  $d= 0.0033$ ; y  $GS_{inicial}= 298.54$ . Para evaluar la eficiencia de modelo se evaluaron la suma de errores cuadráticos medios (SUM) y se hizo un balance de masas (MB). El balance de masas mostró un  $-2.71\%$  de diferencia entre los caudales reales y los modelados. La Figura 3 muestra el gráfico comparativo entre ambas series.

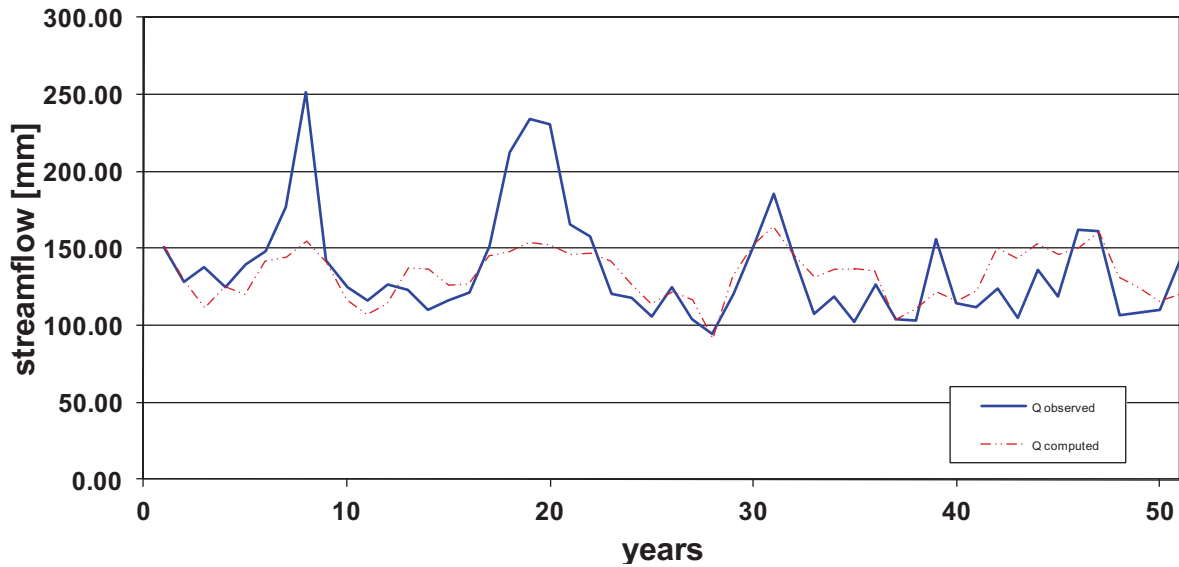


Figura 3 : Comparación entre caudales históricos (QH) y caudales estimados (Q) para la cuenca experimental. Período 1956 – 2006.

Fuente: Autor.

Como puede observarse, el modelo muestra un importante ajuste al flujo base pero una importante deficiencia en la representación de flujos pico. La Tabla 1 muestra los datos de ingreso y los modelados, y pueden ser utilizados para verificar resultados.

Tabla 1. Cálculos realizados durante la aplicación del modelo abcd.

	P(t)	QH(t)	SR(t) =	I(t) =	E(t) =	DP(t) =	GS(t) =	BF(t) =	GF(t) =	Q(t) =	
	mm	mm	a P(t)	P(t)-SR(t)	b I(t)	I(t)-E(t)	(1-c-d) GS(t-1)+DP(t)	c GS(t-1)	d GS(t-1)	SR(t)+BF(t)	
1956	208.2	151.14	26.471	181.729	136.509	45.220	298.542	218.116	124.667	0.979	151.138
1957	294.6	128.54	37.456	257.144	193.159	63.985	190.304	91.082	0.715	128.538	
1958	251.9	138.00	32.027	219.873	165.162	54.711	164.922	79.468	0.624	111.495	
1959	443.3	125.26	56.362	386.938	290.656	96.282	191.794	68.869	0.541	125.232	
1960	314.4	139.22	39.974	274.426	206.141	68.286	179.360	80.091	0.629	120.064	
1961	528.6	148.07	67.208	461.392	346.584	114.808	218.682	74.898	0.588	142.106	
1962	414.1	177.21	52.650	361.450	271.510	89.940	216.586	91.319	0.717	143.969	
1963	502.8	251.73	63.927	438.873	329.668	109.205	234.638	90.444	0.710	154.371	
1964	338.4	141.96	43.025	295.375	221.877	73.498	209.385	97.981	0.769	141.007	
1965	226.6	124.55	28.811	197.789	148.573	49.216	170.478	87.436	0.687	116.247	
1966	281.6	116.04	35.803	245.797	184.635	61.162	159.892	71.189	0.559	106.993	
1967	370.5	126.87	47.106	323.394	242.923	80.470	173.069	66.769	0.524	113.875	
1968	515	123.01	65.479	449.521	337.667	111.855	212.085	72.271	0.567	137.750	
1969	379.3	109.90	48.225	331.075	248.693	82.381	205.207	88.564	0.695	136.789	
1970	319.8	115.79	40.660	279.140	209.681	69.458	188.301	85.692	0.673	126.352	
1971	378.1	121.26	48.073	330.027	247.906	82.121	191.173	78.632	0.617	126.705	
1972	512.5	151.92	65.161	447.339	336.028	111.312	222.026	79.831	0.627	144.992	
1973	435.9	212.11	55.422	380.478	285.804	94.675	223.258	92.715	0.728	148.137	
1974	477.3	233.85	60.685	416.615	312.948	103.666	232.963	93.229	0.732	153.915	
1975	432.9	231.03	55.040	377.860	283.837	94.023	228.940	97.282	0.764	152.322	
1976	396.5	165.65	50.412	346.088	259.971	86.117	218.704	95.602	0.751	146.014	
1977	435.3	157.82	55.345	379.955	285.410	94.544	221.204	91.328	0.717	146.673	
1978	390.4	120.87	49.637	340.763	255.971	84.792	212.899	92.372	0.725	142.008	
1979	297.9	118.02	37.876	260.024	195.322	64.702	187.999	88.904	0.698	126.780	
1980	276	105.62	35.091	240.909	180.963	59.945	168.822	78.506	0.616	113.597	
1981	401.2	124.85	51.010	350.190	263.052	87.138	184.909	70.498	0.554	121.508	
1982	311.1	104.32	39.554	271.546	203.977	67.569	174.656	77.215	0.606	116.770	
1983	145.7	94.12	18.525	127.175	95.530	31.645	132.794	72.934	0.573	91.459	
1984	602.1	120.52	76.553	525.547	394.775	130.772	207.678	55.453	0.435	132.006	
1985	513	151.95	65.224	447.776	336.356	111.420	231.694	86.724	0.681	151.948	
1986	533.3	185.40	67.805	465.495	349.665	115.829	250.011	96.752	0.760	164.557	
1987	320.5	145.15	40.749	279.751	210.140	69.611	214.401	104.401	0.820	145.151	
1988	329.9	107.18	41.944	287.956	216.303	71.652	195.819	89.531	0.703	131.475	
1989	434.1	118.73	55.193	378.907	284.624	94.284	207.689	81.771	0.642	136.964	
1990	394.6	101.91	50.171	344.429	258.725	85.705	205.985	86.728	0.681	136.899	
1991	384.4	126.23	48.874	335.526	252.037	83.489	202.782	86.016	0.675	134.890	
1992	146.7	104.03	18.652	128.048	96.186	31.862	149.300	84.679	0.665	103.331	
1993	379.6	102.78	48.263	331.337	248.890	82.447	168.912	62.346	0.490	110.609	
1994	400.9	156.10	50.972	349.928	262.856	87.073	184.895	70.535	0.554	121.507	
1995	306.2	114.15	38.931	267.269	200.764	66.505	173.584	77.210	0.606	116.141	
1996	392.1	111.94	49.853	342.247	257.086	85.162	185.690	72.486	0.569	122.339	
1997	571.4	123.71	72.649	498.751	374.646	124.104	231.644	77.542	0.609	150.191	
1998	369.1	104.80	46.928	322.172	242.006	80.166	214.319	96.731	0.760	143.660	
1999	500.4	136.31	63.622	436.778	328.094	108.684	232.803	89.497	0.703	153.119	
2000	384.9	118.75	48.937	335.963	252.365	83.598	218.422	97.216	0.763	146.153	
2001	464.5	162.42	59.058	405.442	304.556	100.886	227.382	91.210	0.716	150.268	
2002	519.9	161.05	66.101	453.795	340.877	112.918	244.603	94.952	0.746	161.053	
2003	228.77	106.88	29.087	199.687	149.999	49.688	191.346	102.143	0.802	131.230	
2004	353.43	108.40	44.937	308.498	231.734	76.764	187.579	79.904	0.627	124.840	
2005	296.28	110.37	37.669	258.606	194.257	64.349	172.983	78.330	0.615	116.000	
2006	375.88	142.55	47.791	328.093	246.453	81.640	181.820	72.235	0.567	120.026	

Fuente: Autor.

#### 4. Referencias

Burlando, P. (2011). "Abc model". Wasserhaushalt, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.

Salas, J. D. (2002). "Precipitation-Streamflow Relationship: Watershed Modeling". Hydrology and Water Resources Program, Dep. of Civil Engineering, Colorado State University. USA.

Salas, J. D. and Smith, R. (1981). "Physical Basis of Stochastic Models of Annual Flows". Water Resources Research, VOL. 17, NO. 2, pp 428-430, April 1981.