



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS

**Estudio de identificación y evaluación de
medidas para la minimización del riesgo de
sequías futuras en el sistema Júcar - Turia**

ANEJO 2 de 4

RESULTADOS DEL MÓDULO MASHWIN

Autora: **Zohara Ayari Castelló**
Tutor: **Abel Solera Solera**
Cotutor: **David Haro Monteagudo**

ANEJO 2: RESULTADOS DEL MÓDULO MASHWIN

A2.0.- Pasos previos	95
A2.1.- Pasos del programa Mashwin	97
A2.1.1.- Nivel 1 → Aportaciones históricas	97
A2.1.2.- Nivel 2 → Normalización mensual	98
A2.1.3.- Nivel 3 → Tipificación mensual	99
A2.1.4.- Nivel 4 → Calibración mensual	99
A2.1.5.- Nivel 5 → Validación mensual	100
A2.2.- Calibración	103
A2.2.1.- Normalización → Test del Sesgo	103
A2.2.2.- Estandarización de Fourier → medias = 0, varianza = 1	104
A2.2.3.- Dependencia temporal y espacial → Límites de Anderson	104
A2.2.4.- Inclusión de las EDARs en el programa	105
A2.3.- Generación	106

A2.0.- Pasos previos

Previamente a la utilización del programa Mashwin se ha determinado, de forma manual, la normalización óptima para cada mes de cada aportación. Las normalizaciones posibles son:

1. Normalización raíz - cuadrática (también denominada gamma).
2. Normalización logarítmico - neperiana simple.
3. Normalización logarítmico - neperiana doble.
4. Normalización potencial.
5. No normalizar.

$$\overset{1}{x}_{v,\tau} = \sqrt{Q_{v,\tau}} \quad \overset{2}{x}_{v,\tau} = \ln(Q_{v,\tau} + 1) \quad \overset{3}{x}_{v,\tau} = \ln[\ln(Q_{v,\tau} + 1) + 1] \quad \overset{4}{x}_{v,\tau} = (Q_{v,\tau} - a)^b$$

En las ecuaciones anteriores, el parámetro **X** es el caudal normalizado obtenido, correspondiente a un mes de un año en concreto; el parámetro **Q** es el caudal en su escala original; los parámetros **a** y **b** son parámetros a calibrar, para evitar cálculos adicionales no se va a utilizar la normalización potencial, por lo que no será necesario obtener dichos valores.

Inicialmente se va a escoger entre normalización gamma, normalización logarítmica o no normalizar la serie. Esta normalización no tiene porqué ser la normalización que finalmente de adopte, sino que se trata de una hipótesis inicial que agilizará los cálculos.

Las aportaciones de cada estación se agrupan por meses y se les aplica las normalizaciones anteriores. Una vez aplicadas las normalizaciones, se contrasta el error con la función empírica de la serie y se escoge, para cada mes de cada estación, la normalización con menor error. Las EDARs no son tenidas en cuenta inicialmente ya que al tener valores constantes, a la hora de generar las series sintéticas, se obtienen valores erróneos; más adelante se añadirán al sistema.

A continuación se observa el error en función de la distribución aplicada. La normalización de partida corresponde con la opción de color rojo para cada mes de cada aportación.

Apo Alarcón											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2
Distribución normal (5)	0,0066	0,0059	0,0112	0,0203	0,0112	0,0098	0,0019	0,0071	0,0048	0,0035	0,0072
Distribución log normal (2)	0,0018	0,0016	0,0014	0,0055	0,0051	0,0027	0,0038	0,0011	0,0018	0,0019	0,0041
Distribución raíz normal (1)	0,0034	0,0024	0,0046	0,0108	0,0075	0,0047	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019	0,0053

Apo Alarcón-Molinar											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5
Distribución normal (5)	0,0423	0,0034	0,0031	0,0023	0,0015	0,0009	0,0030	0,0033	0,0026	0,0027	0,0019
Distribución log normal (2)	0,0184	0,0017	0,0019	0,0015	0,0011	0,0012	0,0067	0,0062	0,0156	0,0044	0,0065
Distribución raíz normal (1)	0,0284	0,0024	0,0024	0,0018	0,0012	0,0010	0,0047	0,0045	0,0072	0,0034	0,0037

Apo Contreras											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	5	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
Distribución normal (5)	0,0008	0,0061	0,0181	0,0158	0,0117	0,0053	0,0028	0,0072	0,0069	0,0055	0,0029
Distribución log normal (2)	0,0020	0,0022	0,0052	0,0056	0,0077	0,0058	0,0022	0,0020	0,0022	0,0018	0,0011
Distribución raíz normal (1)	0,0012	0,0037	0,0104	0,0089	0,0094	0,0052	0,0013	0,0035	0,0035	0,0026	0,0012

Apo Tous											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	2	5	5	1	1	5	5	5	1	1	5
Distribución normal (5)	0,0449	0,0032	0,0016	0,0027	0,0040	0,0011	0,0016	0,0026	0,0015	0,0064	0,0008
Distribución log normal (2)	0,0174	0,0159	0,0036	0,0041	0,0042	0,0148	0,0153	0,0025	0,0094	0,0066	0,0192
Distribución raíz normal (1)	0,0281	0,0087	0,0019	0,0027	0,0036	0,0019	0,0083	0,0083	0,0014	0,0060	0,0025

Apo Benageher											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	5	1	2	2	1	1	2	2	2	2	5
Distribución normal (5)	0,0014	0,0018	0,0058	0,0154	0,0011	0,0015	0,0052	0,0064	0,0071	0,0104	0,0018
Distribución log normal (2)	0,0031	0,0013	0,0029	0,0036	0,0012	0,0021	0,0012	0,0019	0,0022	0,0010	0,0044
Distribución raíz normal (1)	0,0019	0,0012	0,0038	0,0078	0,0006	0,0014	0,0024	0,0032	0,0036	0,0028	0,0027

Apo Loriguilla											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Distribución normal (5)	0,0053	0,0214	0,0164	0,0054	0,0085	0,0140	0,0092	0,0076	0,0107	0,0134	0,0056
Distribución log normal (2)	0,0050	0,0016	0,0034	0,0021	0,0033	0,0037	0,0046	0,0072	0,0081	0,0066	0,0041
Distribución raíz normal (1)	0,0045	0,0023	0,0026	0,0017	0,0029	0,0027	0,0035	0,0065	0,0079	0,0056	0,0042

Apo Manises											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Distribución normal (5)	0,0185	0,0283	0,0488	0,0214	0,0062	0,0077	0,0072	0,0039	0,0128	0,0034	0,0033
Distribución log normal (2)	0,0033	0,0108	0,0113	0,0105	0,0014	0,0021	0,0020	0,0012	0,0045	0,0021	0,0022
Distribución raíz normal (1)	0,0084	0,0178	0,0278	0,0149	0,0027	0,0039	0,0037	0,0018	0,0071	0,0014	0,0018

Entradas 1											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Distribución con menos error	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Distribución normal (5)	0,0182	0,0147	0,0189	0,0198	0,0079	0,0108	0,0116	0,0076	0,0090	0,0079	0,0084
Distribución log normal (2)	0,0099	0,0076	0,0051	0,0051	0,0030	0,0046	0,0053	0,0030	0,0045	0,0034	0,0033
Distribución raíz normal (1)	0,0130	0,0101	0,0093	0,0097	0,0044	0,0065	0,0073	0,0043	0,0058	0,0046	0,0047

Entradas 2												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2
Distribución normal (5)	0,0532	0,0436	0,0850	0,0176	0,0230	0,0278	0,0320	0,0295	0,0220	0,0063	0,0136	0,0015
Distribución log normal (2)	0,0312	0,0362	0,0126	0,0148	0,0198	0,0249	0,0162	0,0202	0,0194	0,0053	0,0114	0,0029
Distribución raíz normal (1)	0,0378	0,0292	0,0230	0,0144	0,0191	0,0242	0,0174	0,0197	0,0183	0,0048	0,0105	0,0023

Entradas 3												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2
Distribución normal (5)	0,0251	0,0238	0,0288	0,0265	0,0086	0,0114	0,0091	0,0066	0,0089	0,0077	0,0085	0,0325
Distribución log normal (2)	0,0163	0,0150	0,0112	0,0109	0,0052	0,0074	0,0053	0,0037	0,0061	0,0046	0,0052	0,0110
Distribución raíz normal (1)	0,0172	0,0159	0,0140	0,0130	0,0051	0,0073	0,0053	0,0036	0,0060	0,0044	0,0050	0,0142

Precipitación												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2
Distribución normal (5)	0,0120	0,0077	0,0108	0,0104	0,0038	0,0117	0,0062	0,0051	0,0163	0,0232	0,0247	0,0095
Distribución log normal (2)	0,0029	0,0015	0,0041	0,0027	0,0029	0,0051	0,0022	0,0012	0,0024	0,0084	0,0084	0,0010
Distribución raíz normal (1)	0,0041	0,0013	0,0040	0,0018	0,0019	0,0026	0,0023	0,0009	0,0032	0,0063	0,0112	0,0022

Apo Bellus												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2
Distribución normal (5)	0,0314	0,0277	0,0221	0,0363	0,0382	0,0064	0,0049	0,0116	0,0068	0,0052	0,0061	0,0347
Distribución log normal (2)	0,0069	0,0082	0,0038	0,0100	0,0051	0,0028	0,0031	0,0038	0,0028	0,0027	0,0033	0,0122
Distribución raíz normal (1)	0,0105	0,0117	0,0067	0,0163	0,0111	0,0026	0,0029	0,0044	0,0017	0,0013	0,0017	0,0158

Apo Sueca												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Distribución normal (5)	0,0145	0,0236	0,0074	0,0091	0,0140	0,0172	0,0051	0,0122	0,0069	0,0050	0,0150	0,0068
Distribución log normal (2)	0,0031	0,0020	0,0027	0,0015	0,0016	0,0036	0,0012	0,0010	0,0011	0,0060	0,0075	0,0017
Distribución raíz normal (1)	0,0074	0,0084	0,0022	0,0017	0,0051	0,0087	0,0018	0,0039	0,0013	0,0041	0,0065	0,0023

Apo Forata												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Distribución con menos error	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Distribución normal (5)	0,0183	0,0411	0,0524	0,0226	0,0107	0,0118	0,0264	0,0055	0,0273	0,0144	0,0272	0,0165
Distribución log normal (2)	0,0069	0,0256	0,0227	0,0114	0,0042	0,0051	0,0104	0,0024	0,0119	0,0091	0,0160	0,0101
Distribución raíz normal (1)	0,0058	0,0262	0,0279	0,0104	0,0032	0,0039	0,0096	0,0016	0,0091	0,0039	0,0108	0,0067

Leyenda	
Más bajo	(el que cogemos)
Medio	
Alto	

Raíz	1
Logaritmo	2
No normalizar	5

En función de lo anterior, las normalizaciones, según la estación y el mes, de partida son las siguientes:

ESTACIÓN	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alarcón	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2	2
Alarcón-Molinar	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5
Contreras	5	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
Tous	2	5	5	1	1	5	5	5	1	1	5	5
Benagáber	5	1	2	2	1	1	2	2	2	2	5	1
Loriguilla	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Manises	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Entradas 1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Entradas 2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2
Entradas 3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2
Precipitación	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2
Bellus	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2
Sueca	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Forata	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

A2.1.- Pasos del programa Mashwín

A continuación se van a explicar los distintos niveles del programa con las condiciones utilizadas.

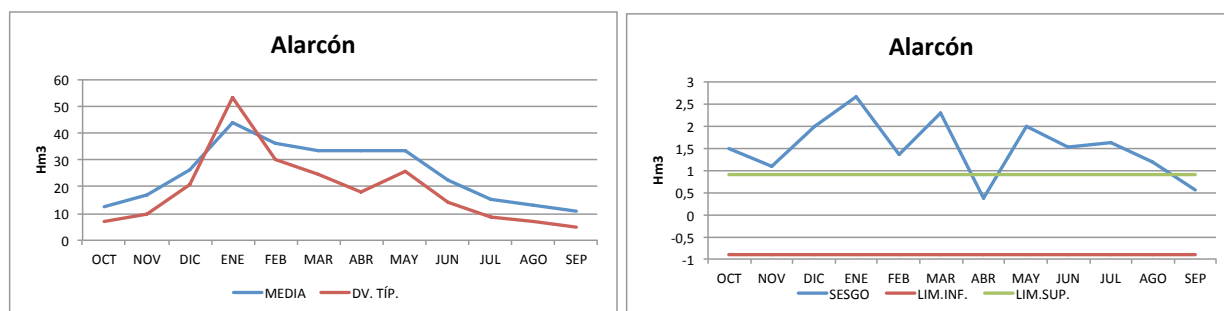
A2.1.1.- Nivel 1 → Aportaciones históricas

En este nivel inicial se introducen la serie de aportaciones históricas, exceptuando las dos EDARs que serán tenidas en cuenta más adelante. Se selecciona como número de umbrales 1 y el umbral como fracción del caudal mensual el valor del 90%.

El programa define tres grupos de estadísticos: básicos, de sequía y de almacenamiento, que sirven para calibrar y validar el modelo; además, los estadísticos básicos se emplean en la normalización y la tipificación de las series.

Estadísticos básicos:

Al tratarse de series mensuales, se calculan las medias, las desviaciones típicas y los coeficientes de sesgo para cada uno de los 12 meses del año de cada estación.



Ilustraciones 42 y 43: Valores de los estadísticos básicos de la serie histórica en la estación de Alarcón.

Estadísticos de sequía:

Es necesario definir previamente los conceptos que se emplean para la determinación de los estadísticos de sequía:

- **Umbral:** Fracción del caudal medio de toda la serie de caudales históricos, que se emplea para determinar una situación de sequía o el volumen de un embalse en el que se desea almacenar una determinada cantidad.
- **Déficit:** Cuando el caudal es menor que el umbral.
- **Sequía:** Periodos consecutivos en estado de déficit. Se caracteriza por tres elementos: *duración*, *intensidad* y *magnitud* que son los estadísticos que se calculan dentro de esta categoría.
- **Duración:** Número de periodos consecutivos en déficit.

- **Intensidad:** Máximo déficit de la sequía.
- **Magnitud:** Volumen total de los déficits de sequía.

El programa Mashwin forma la serie de sequías que corresponde con la serie de aportaciones de cada estación para cada umbral y calcula sus medias, máximos y desviaciones típicas de duración (D), intensidad (I) y magnitud (M):

Alarcón (mensual)											
%Q.MED	UMBRAL	# SEQUÍAS	D.MED	I.MED	M.MED	D.DVT	I.DVT	M.DVT	D.MÁX	I.MÁX	M.MÁX
90	22,28	27	7.3	11.91	68.57	4.9	4.65	61.43	20.0	18.42	244.97

Estadísticos de almacenamiento:

En este último estadístico se calcula la *capacidad del embalse* mediante un umbral dado, necesario para almacenar el volumen de agua que se requiere para poder suministrar la totalidad de un suministro constante equivalente al valor del umbral. La forma de conseguirlo será mediante el algoritmo de los *Picos Secuenciales*, en el que la capacidad del embalse es el máximo de los valores calculados. Además de la capacidad de embalse, se calculan el rango ajustado, el rango reescalado y el coeficiente de Hurst, de la siguiente forma:

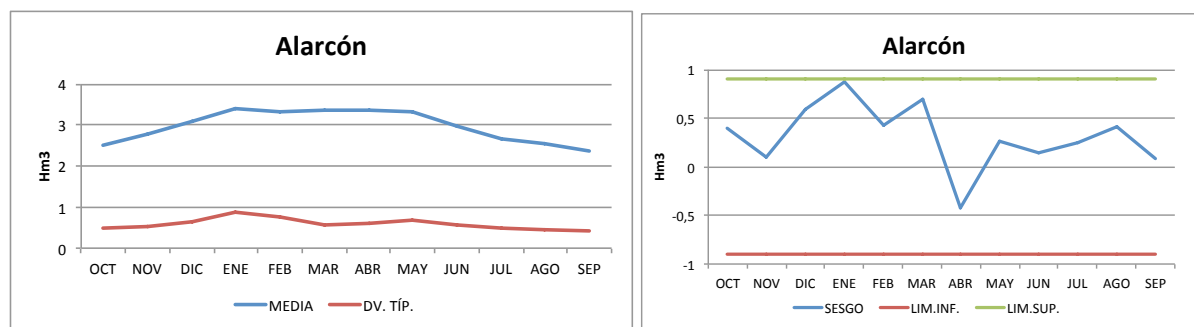
Alarcón	
Rango	937,94
R. Esc	37,98
C. Hurst	0,73
%Q med	90%
Umbral	22,28
Cap. Emb	546,17

A2.1.2.- Nivel 2 → Normalización mensual

Se trata de transformar las series de caudales originales mensuales mediante distintos tipos de funciones, con el fin de que se conviertan en series normalizadas originales, es decir, que adopten una distribución de probabilidad normal.

En este nivel, se introduce la normalización mensual de cada estación. Inicialmente se introduce la obtenida mediante el mínimo error cuadrático, obtenida en el paso inicial. Más adelante, en la calibración, se comprobará que el sesgo sea igual a 0 y que se encuentre dentro de los límites de Anderson.

Al aplicar la normalización se obtienen de nuevo las medias, desviaciones típicas, sesgos y límites de la serie normalizada.



Ilustraciones 44 y 45: Estadísticos de las aportaciones mensuales normalizadas en la estación de Alarcón.

Si los resultados del último paso no son aceptables se volverá a este nivel, se cambiará la normalización y se ejecutarán los pasos a partir de este nivel.

A2.1.3.- Nivel 3 → Tipificación mensual

Una vez obtenida la serie normalizada se procede a tipificar la serie, con el fin de eliminar las periodicidades en las series mensuales. De esta manera, se puede evaluar las correlaciones entre las distintas series a partir de las matrices de correlación cruzada y de las funciones de autocorrelación. Se seleccionarán los siguientes criterios:

- Porcentaje significativo de varianza explicada: **95%**.
- ¿Tipificar con estadísticos ajustados por Fourier?: **Sí**.
- Número de intervalos de correlación: **25**.

A2.1.4.- Nivel 4 → Calibración mensual

Mashwin tiene tres modelos Auto - Regresivos de Media Móvil de orden (p,q) , es decir con p parámetros autorregresivos y q parámetros de media móvil: ARMA (p,q) . Estos modelos tienden a conservar los estadísticos de primer orden de las series muestrales: media y desviación típica y las primeras p autocorrelaciones. Debido a estas características, resultan útiles a la hora de generar series futuras equiprobables a la serie histórica. Cuando las series son mensuales, los modelos de parámetros constantes, resultan más apropiados con el principio de parsimonia estadística (menos parámetros) y, en la mayoría de los casos, resultan suficientemente adecuados para la modelación de dichas series.

El modelo que se va a utilizar es el modelo autorregresivo puro más simple AR(1). El programa calculará matrices de parámetros mediante un procedimiento de estimación basado en el método de los momentos.

En este nivel se calcularán los parámetros del modelo ARMA. Se procederá introduciendo las dimensiones p y q del modelo ARMA (p, q) a modelar e identificando los subconjuntos de estaciones principales. Se seleccionará lo siguiente:

- Modelo ARMA: **Sí**.
- Modelo de desagregación espacial (DSPC): **No**.
- Modelo de desagregación temporal (DTMP): **No**.
- Modelo ARMA → **AR(1)**.
- Número de intervalos de correlación: **15**.
- Modelación: **M** (mensual).

Con los parámetros del modelo AR(1) se obtendrán las matrices Fi1 y Theta0, necesarias para la generación de las series sintéticas; así como los residuos de la serie histórica. De estos residuos se calcularán todos los parámetros estadísticos de medias, varianzas, correlaciones, etc, que se comentarán en la parte de calibración más adelante.

PARÁMETROS DEL MODELO AR(1)
MATRIZ FI1

0.649746	-0.024890	0.034197	-0.080856	-0.087166	-0.063895	-0.000560	-0.151736	0.185957	-0.220086	0.068556	0.191321	0.032113	-0.129710	0.021332	0.065780
-0.084705	0.481428	-0.019319	-0.060276	0.028626	0.017088	0.004609	0.066833	0.050643	-0.323317	-0.083301	0.358013	-0.011275	0.145973	-0.137745	-0.034714
0.056706	-0.028876	0.743648	-0.050028	-0.067270	-0.034360	-0.008695	-0.032343	0.148695	-0.498586	-0.048395	0.558284	0.001742	-0.041941	-0.083941	0.043070
0.038279	-0.147327	-0.258283	0.255293	0.132021	0.052553	0.043132	0.129868	-0.005494	0.060818	-0.066690	0.149717	0.042406	-0.017832	0.064420	-0.077765
0.037992	-0.050976	0.153696	-0.026703	0.496268	0.022906	0.054537	0.012832	0.136513	-0.105418	-0.133976	0.088452	0.051095	0.020257	-0.037868	0.095608
-0.019441	-0.042909	-0.064705	-0.064120	-0.003409	0.065741	-0.025672	-0.065924	0.183655	-0.531177	-0.077457	0.428020	0.030736	0.112622	-0.059617	-0.040899
0.001578	-0.095188	0.057073	0.130322	-0.030204	-0.026002	-0.033389	0.110460	-0.104279	0.032431	0.033926	0.041989	-0.037243	-0.139965	0.074568	-0.018194
-0.082588	0.118620	-0.001036	-0.044054	0.102345	0.022327	-0.028811	0.526849	0.107205	-0.149530	-0.150177	0.204900	-0.124638	0.104028	-0.043512	0.073776
-0.039510	-0.070155	0.126199	-0.009475	0.125722	-0.014624	0.061963	0.027551	0.422366	0.303827	-0.093140	-0.092581	-0.023764	0.110577	-0.042498	-0.024899
0.004164	-0.051067	-0.021669	0.017479	0.062343	0.015817	0.041892	0.010039	-0.026604	1.336065	0.040395	-0.563747	-0.048210	0.119883	0.032241	-0.027829
-0.071724	-0.103037	-0.011545	0.006026	0.115747	0.062034	0.073549	-0.015224	-0.028616	0.192432	-0.009178	0.151561	0.021623	0.172292	-0.071717	-0.007816
0.015732	-0.047442	-0.030211	0.037168	0.087565	0.024447	0.040898	0.007805	-0.014379	0.885202	0.009950	-0.164264	-0.072190	0.104836	-0.036186	-0.011783
-0.097838	-0.118929	0.112121	-0.022842	-0.057969	0.057773	0.050989	-0.064604	0.057331	0.227359	-0.034176	-0.200695	0.077655	0.032341	-0.092072	0.066643
-0.075998	0.003534	0.093923	0.130133	0.048962	0.086474	0.074999	0.072024	0.087599	0.366179	-0.075723	-0.091404	-0.059879	0.281349	-0.056372	-0.052661
0.076906	-0.104240	-0.066252	0.029351	0.093687	0.027781	0.049365	0.059470	-0.051902	0.530716	0.036571	-0.333404	0.089082	0.017693	0.306831	-0.099118
0.004485	-0.069640	-0.007576	-0.073000	0.155887	-0.005532	0.035039	-0.045698	0.061741	0.283929	-0.036132	-0.107102	0.007834	0.063559	-0.145296	0.436116

MATRIZ THETA0

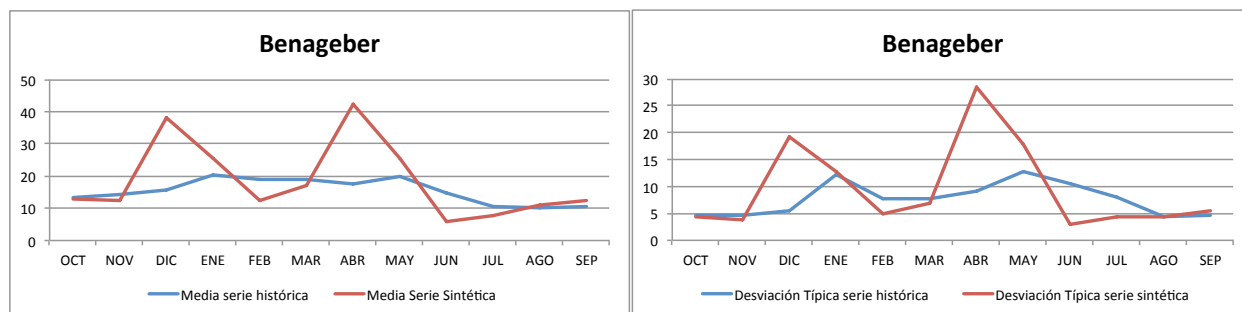
0.650250	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.011265	0.814263	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.392583	0.090708	0.420268	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.058121	0.009546	0.126224	0.080692	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.270378	0.123070	0.294439	0.088336	0.505536	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.062671	-0.040289	0.012420	-0.030421	0.047636	0.975812	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.036689	-0.031369	0.001148	-0.032661	-0.085531	0.055784	0.970619	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.047109	0.040284	0.113179	0.059547	-0.022625	0.004464	0.040165	0.706100	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.098311	0.159970	0.279202	0.135804	0.087338	-0.028727	-0.011493	0.156024	0.591756	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.020936	0.076213	0.117577	0.067958	0.062851	0.027026	0.012479	0.118920	0.290147	0.396970	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.107906	0.227217	0.271154	0.213749	0.152177	0.006228	-0.002063	0.194217	0.397208	0.324381	0.539129	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.028654	0.195666	0.147135	0.003058	0.065896	0.029429	0.021387	0.147426	0.334013	0.455832	0.044857	0.113176	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.138289	0.209929	0.181772	0.245287	0.165064	0.006541	-0.031931	0.162063	0.382912	0.249741	0.256800	0.148005	0.674630	0.000000	0.000000	0.000000
0.008440	0.195890	0.246923	0.245925	0.034929	0.006904	0.022167	0.047204	0.213229	0.140662	0.135290	0.147468	0.071228	0.623296	0.000000	0.000000
0.094813	0.225655	0.205497	0.136798	0.024159	-0.025052	-0.006040	0.055481	0.270991	0.200915	0.068830	0.012251	-0.146452	0.077420	0.627144	0.000000
0.176958	0.192773	0.287628	0.180407	0.208337	0.026789	-0.016810	0.158541	0.232509	0.165291	0.145200	0.029387	-0.009350	0.030783	0.046735	0.511147

A2.1.5.- Nivel 5 → Validación mensual

Se trata del último nivel en el que se generarán las series sintéticas. Se accede introduciendo los datos de longitud de la serie a generar y el número de series que se quiere generar. Se seleccionará lo siguiente:

- Selección del tipo de generación: **Sólo ARMA**.
- Selección del modelo para generación ARMA: **AR(1)**.
- Número de estaciones principales: **16**, 14 sin EDARs.
- Número de series a generar: **300**. Más adelante se explicará el número óptimo.
- Longitud de la serie en años: **3**.
- Longitud del periodo de calentamiento en años: 5 inicialmente, **0** una vez esté calibrado.
- Año inicial de las series sintéticas: **2004**. Este valor cambiará más adelante.
- Mes inicial de las series sintéticas: **10**. Este valor cambiará más adelante.
- Número de regazos de los correlogramas: **5**.
- Caudales previos a los iniciales: se pondrán, para cada estación, los caudales previos al mes inicial al de la simulación. En el periodo de calibración serán igual a 0.
- Parámetros del modelo AR(1): La matriz obtenida en el *nivel 4*.
- Estadísticos para la destipificación (con Fourier): Media y varianza obtenida en el *nivel 3*.
- Función de desnormalización: Se pone la misma normalización del *nivel 2*.
- ¿Anular los caudales negativos?: **S** (Sí).

Una vez determinadas las condiciones se ejecuta el programa y se generan las series sintéticas. Al generarlas se comprueban los resultados con la serie histórica, especialmente las medias y varianzas de cada estación, para ver si son similares. Si al contrastarlas existen meses en los que no se asemejan a la serie histórica, se ajustará la normalización (en el nivel 2) y se volverán a repetir los pasos hasta que las medias y desviaciones típicas de la serie generada sea lo más similares posibles a la serie histórica. A continuación se puede ver un ejemplo en Benagéber en el que se comprueba que la normalización escogida no es la apropiada:



Después de varias iteraciones con el programa, la normalización con la que se obtiene una serie sintética que más se ajusta a la serie histórica es la siguiente:

ESTACIÓN	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alarcón	2	2	2	1	2	2	5	2	2	2	2	2
Alarcón-Molinar	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Contreras	5	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2
Tous	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Benagéber	5	1	1	5	1	1	1	1	1	1	5	1
Loriguilla	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Manises	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Entradas 1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Entradas 2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
Entradas 3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	5
Precipitación	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2
Bellus	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1
Sueca	5	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
Forata	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1

Después de obtener la normalización apropiada para cada mes, se ha optado por eliminar más parámetros; la forma de conseguirlo es que cada estación tenga la misma normalización en

todos sus meses. Además se ha incluido la normalización doble logarítmica para las estaciones en las que las aportaciones son muy variables, como es el caso de Forata o de las entradas a L'Albufera. La normalización final es la siguiente:

ESTACIÓN	Norm. mensual	ESTACIÓN	Norm. mensual
Alarcón	Log (2)	Manises	Log (2)
Alarcón-Molinar	No normali (5)	Entradas 1	Doble Log (3)
Contreras	Log (2)	Entradas 2	Doble Log (3)
Tous	No normali (5)	Entradas 3	Doble Log (3)
Benagéber	Gamma (1)	Precipitación	Gamma (1)
E. Quart	No normali (5)	Bellus	Gamma (1)
E. Pinedo	No normali (5)	Sueca	Log (2)
Loriguilla	Gamma (1)	Forata	Doble Log (3)

A2.2.- Calibración

Una vez escogida la misma normalización para cada estación, se comprueban los siguientes parámetros para su calibración:

A2.2.1.- Normalización → Test del Sesgo

Para comprobar la normalización se hace la prueba del *Test del sesgo* = 0, además de comprobar que el sesgo se encuentra entre los límites superior e inferior:

			Sesgo						
	LIM.INF.	LIM.SUP.	Alarcón	Alar-Mol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises
OCT	-0,901	0,901	0,401	4,683	-0,307	4,754	-0,353	-0,058	1,06
NOV	-0,901	0,901	0,101	0,634	0,483	0,021	-0,181	1,517	1,511
DIC	-0,901	0,901	0,588	1,099	1,046	1,005	0,771	1,051	3,024
ENE	-0,901	0,901	0,876	0,46	0,9	0,395	2,197	-0,119	1,403
FEB	-0,901	0,901	0,426	0,217	0,281	0,582	0,194	0,195	-0,303
MAR	-0,901	0,901	0,69	-0,161	0,037	0,317	-0,283	0,497	0,67
ABR	-0,901	0,901	-0,428	-0,597	-0,111	-0,425	0,881	0,232	-0,256
MAY	-0,901	0,901	0,262	-0,581	0,106	0,022	0,722	-0,025	0,205
JUN	-0,901	0,901	0,138	-0,71	0,354	-0,01	1,017	0,397	0,826
JUL	-0,901	0,901	0,256	-0,207	0,432	1,194	1,669	0,58	-0,759
AGO	-0,901	0,901	0,42	-0,58	0,195	-0,04	-0,483	-0,12	-0,826
SEP	-0,901	0,901	0,085	-0,5	0,146	-0,82	0,008	-0,106	-0,195

			Sesgo						
	LIM.INF.	LIM.SUP.	Entra 1	Entra 2	Entra 3	Precipita	Bellus	Sueca	Forata
OCT	-0,901	0,901	0,766	2,18	1,221	0,635	2,473	0,367	0,927
NOV	-0,901	0,901	0,82	2,06	1,413	0,285	2,213	1,098	1,758
DIC	-0,901	0,901	1,009	2,021	1,737	0,539	2,109	-0,013	2,554
ENE	-0,901	0,901	1,014	0,923	1,706	0,459	2,483	0,167	0,909
FEB	-0,901	0,901	0,339	1,272	0,548	-0,205	3,16	0,476	0,532
MAR	-0,901	0,901	0,581	1,478	0,966	0,47	0,668	0,82	0,706
ABR	-0,901	0,901	0,437	1,977	0,797	0,482	0,119	-0,277	1,218
MAY	-0,901	0,901	0,289	2,098	0,644	0,235	0,852	-0,149	0,299
JUN	-0,901	0,901	0,363	1,807	0,72	1,195	0,084	-0,743	1,711
JUL	-0,901	0,901	0,439	1,267	0,855	1,299	-0,131	-0,31	1,072
AGO	-0,901	0,901	0,211	1,891	0,665	1,342	-0,016	0,409	2,085
SEP	-0,901	0,901	1,044	3,03	2,133	0,86	1,984	-0,465	1,367

Los resultados indican que prácticamente en todas las estaciones existe algún mes que se sale fuera de los límites de Anderson (color en rojo); pero, en la mayoría de los casos, los valores se encuentran próximos al límite.

Especialmente en las estaciones de Forata y las entradas a L'Albufera es cuando menos cumple la condición del sesgo; esto es debido a la irregularidad de sus aportaciones.

Las variaciones de sesgo en los meses de verano son debidas a la disminución de aportaciones en el sistema; sin embargo, pese a que en otros meses tampoco se cumpla la condición del test del sesgo se va a dar por válida la serie por el principio de parsimonia de datos, y así utilizar menos ecuaciones.

A2.2.2.- Estandarización de Fourier \rightarrow medias = 0, varianza = 1

En la estandarización de Fourier se comprueba que la media sea igual a 0 y la varianza a 1 en los estadísticos de la serie residual del modelo AR(1).

	Alarcón	AlarMol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises
MEDIA	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DV TP	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98

	Entra1	Entra2	Entra3	Precip	Bellus	Sueca	Forata
MEDIA	0,00	-0,01	0,00	0,01	-0,01	0,01	0,00
DV TP	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98

Los resultados obtenidos muestran que, en efecto, la media es prácticamente 0 y la varianza se aproxima a 1 en todas las estaciones, por lo que se cumple con la estandarización de Fourier.

A2.2.3.- Dependencia temporal y espacial \rightarrow Límites de Anderson

Se trata de comprobar la dependencia temporal y espacial de los autocorrelogramas de series residuales del modelo AR(1) y sus límites de Anderson, con una confianza del 95%. Se comprobará para un desfase de 0, 1, 2 meses.

k	LIM INF	LIM SUP	Alarcón	AlarMol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises
0	-0,116	0,11	1	1	1	1	1	1	1
1	-0,117	0,11	0,067	-0,074	-0,102	-0,059	-0,014	-0,02	-0,051
2	-0,117	0,11	-0,057	0,085	-0,051	0,124	-0,011	-0,033	0,088

k	LIM INF	LIM SUP	Entra1	Entra2	Entra3	Precip	Bellus	Sueca	Forata
0	-0,116	0,11	1	1	1	1	1	1	1
1	-0,117	0,11	-0,147	-0,108	-0,008	-0,031	-0,054	-0,006	-0,057
2	-0,117	0,11	-0,009	-0,008	-0,007	0,009	0,117	0,028	0,038

En las siguientes tablas los límites de Anderson corresponden con los de esta tabla. También se señalarán en rojo los valores que se salen de los límites.

K = 0	Alarcón	AlarMol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises	Entra1	Entra2	Entra3	Precip	Bellus	Sueca	Forata
Alarcón	1	-0,002	-0,013	0,003	0,004	-0,002	0,001	-0,001	0,005	0,005	-0,001	0,001	0,005	0
AlarMol	-0,002	1	-0,001	0,001	0,002	-0,001	0	-0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0
Contreras	-0,013	-0,001	1	0,003	0,004	-0,003	-0,002	-0,002	0,005	0,005	0,001	0,001	0,005	0
Tous	0,003	0,001	0,003	1	0	0,001	0,001	0	-0,002	-0,002	0,001	0,004	-0,002	-0,001
Benagéber	0,004	0,002	0,004	0	1	0,001	-0,001	0	-0,002	-0,001	0	0,001	-0,001	-0,002
Loriguilla	-0,002	-0,001	-0,003	0,001	0,001	1	0	-0,001	0,003	0,003	0,001	0	0,002	0
Manises	0,001	0	-0,002	0,001	-0,001	0	1	-0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0
Entra1	-0,001	-0,001	-0,002	0	0	-0,001	-0,001	1	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0
Entra2	0,005	0,002	0,005	-0,002	-0,002	0,003	0,001	0,002	1	-0,004	0,001	0,002	-0,004	-0,001
Entra3	0,005	0,002	0,005	-0,002	-0,001	0,003	0,002	0,003	-0,004	1	0,001	0,003	-0,004	-0,001
Precip	-0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	0	0	0
Bellus	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0	0,002	0,001	0,002	0,003	0	1	0,001	0
Sueca	0,005	0,002	0,005	-0,002	-0,001	0,002	0,001	0,002	-0,004	-0,004	0	0,001	1	-0,001
Forata	0	0	0	-0,001	-0,002	0	0	0	-0,001	-0,001	0	0	-0,001	1

K = 1	Alarcón	AlarMol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises	Entra1	Entra2	Entra3	Precip	Bellus	Sueca	Forata
Alarcón	0,067	-0,026	0,004	-0,001	-0,011	-0,012	0,004	-0,03	0,007	0,024	0,003	-0,014	0,01	0,01
AlarMol	0	-0,074	-0,049	0,015	0,054	-0,02	0,007	0,003	0,036	-0,033	0,023	-0,006	0,037	0,023
Contreras	0,013	0,006	-0,102	0,045	-0,022	-0,036	-0,009	0,006	0,045	0,077	-0,03	-0,006	-0,011	0,006
Tous	0,061	-0,024	0,058	-0,059	0,019	0,026	0,003	-0,04	-0,019	0,018	0,026	-0,024	-0,061	0,081
Benagéber	0,016	0,043	0,045	-0,041	-0,014	0,02	-0,016	-0,002	-0,02	0,002	-0,011	0,017	-0,035	-0,011
Loriguilla	0,067	-0,019	0,071	-0,025	0,062	-0,02	-0,009	-0,071	-0,01	0,057	0,007	-0,024	-0,009	0,035
Manises	0,006	0,002	-0,025	0,009	0,048	0,011	-0,051	-0,088	0,048	0,092	-0,004	-0,023	-0,021	-0,04
Entra1	0,009	-0,029	0,016	-0,001	0,1	0,025	-0,031	-0,147	0,041	0,098	0,003	-0,032	0,07	-0,014
Entra2	0,056	0,071	0,136	-0,062	0,008	0,073	0,022	-0,021	-0,108	-0,034	-0,031	0,043	-0,05	-0,022
Entra3	0,008	-0,058	-0,03	0,018	-0,042	-0,034	0,005	-0,032	0,037	-0,008	0,046	-0,005	0,038	-0,009
Precip	0,005	-0,019	0,021	0,032	0,001	0,038	0,033	0,073	-0,071	-0,052	-0,031	0,021	0,034	0,004
Bellus	0,104	0	0,031	-0,041	-0,009	-0,044	0,003	0,008	-0,012	0,05	-0,006	-0,054	-0,037	0,06
Sueca	-0,015	0,01	-0,064	-0,006	-0,059	0,003	-0,015	-0,036	0,021	0,014	0,033	-0,003	-0,006	-0,007
Forata	-0,033	0,032	-0,008	-0,004	-0,075	-0,023	0,016	0,003	-0,002	-0,014	0,007	0,024	-0,02	-0,057

K = 2	Alarcón	AlarMol	Contreras	Tous	Benagéber	Loriguilla	Manises	Entra1	Entra2	Entra3	Precip	Bellus	Sueca	Forata
Alarcón	-0,057	0	-0,101	-0,028	-0,013	-0,045	-0,05	0,015	-0,026	0,039	0,028	0,017	-0,008	-0,002
AlarMol	0,104	0,085	0,064	0,038	-0,073	-0,037	0,085	-0,013	-0,061	0,106	-0,004	-0,083	-0,063	0,029
Contreras	-0,078	-0,076	-0,051	-0,1	-0,057	0,025	-0,008	-0,054	0,023	-0,053	0,129	0,012	0,079	0,023
Tous	-0,039	0,057	-0,015	0,124	-0,025	-0,018	-0,045	0,003	0,068	0,048	0,116	-0,026	0,013	-0,077
Benagéber	-0,026	-0,087	-0,052	0,034	-0,011	-0,048	0,013	0,025	0,029	-0,014	0,118	-0,077	0,007	0,06
Loriguilla	0,014	-0,034	-0,07	-0,021	-0,06	-0,033	0,053	0,006	0,12	0,018	-0,033	0,068	0,046	-0,112
Manises	-0,039	0,023	-0,049	-0,052	-0,182	-0,081	0,088	0,052	0,062	0,005	0,049	0,001	0,062	0,147
Entra1	-0,003	0,076	-0,008	-0,033	-0,151	-0,007	-0,01	-0,009	-0,008	0,092	-0,057	-0,051	-0,086	0,004
Entra2	0,034	-0,064	-0,041	0,041	0,038	-0,059	-0,076	0,084	-0,008	-0,015	0,037	0,003	0,037	-0,003
Entra3	-0,03	0,049	-0,088	0,03	0,059	-0,056	0,005	0,091	-0,018	-0,007	-0,033	0,034	-0,021	0,031
Precip	0,004	0,023	-0,002	-0,035	0,019	-0,043	-0,021	-0,011	0,043	-0,028	0,009	0,075	-0,08	-0,09
Bellus	0,005	-0,048	-0,027	0,079	0,011	0,017	-0,076	-0,065	0,027	-0,076	0,036	0,117	0,1	-0,051
Sueca	-0,013	-0,053	0,086	0,019	0,051	-0,014	-0,015	0,073	0,005	0,067	0,026	-0,004	0,028	-0,034
Forata	0,011	-0,024	0,011	-0,051	0,088	0,058	-0,036	0,004	0,001	0,007	0,048	0,036	0,04	0,038

La correlación de la serie indica que los número varían entre 1 y -1. Cuando el valor es igual a 0, o próximo a él, significa que ambas estaciones son independientes; sin embargo, cuando el valor es próximo o igual a 1 ó -1 significa que son dependientes, como pasa con las estaciones consigo mismas cuando no hay desfase temporal. Si además el valor es positivo, indica que cuando una estación aumenta, la otra también lo hace; si el valor es negativo significa que cuando una estación aumenta, la otra disminuye; la forma en la que aumentan o disminuyen depende de la fuerza que haya entre ambas.

Para observar si la serie residual es óptima, se observa principalmente la serie sin desfase y la serie con desfase de sólo un mes. La serie es dada como válida ya que en las estaciones en las que se salen de los límites no se alejan demasiado.

A2.2.4.- Inclusión de las EDARs en el programa

Una vez determinada la calibración se procede a insertar las EDARs (los números aleatorios de cada EDAR) en el sistema para obtener los estadísticos necesarios para la generación de series sintéticas. Las EDARs no se normalizarán y no será necesario calcular de nuevo la calibración puesto que los otros valores no varían y son válidos. La normalización final será:

ESTACIÓN	Norm. mensual	ESTACIÓN	Norm. mensual
Alarcón	Log (2)	Manises	Log (2)
Alarcón-Molinar	No normali (5)	Entradas 1	Doble Log (3)
Contreras	Log (2)	Entradas 2	Doble Log (3)
Tous	No normalizar (5)	Entradas 3	Doble Log (3)
Benagéber	Gamma (1)	Precipitación	Gamma (1)
E. Quart	No normalizar (5)	Bellus	Gamma (1)
E. Pinedo	No normalizar (5)	Sueca	Log (2)
Loriguilla	Gamma (1)	Forata	Doble Log (3)
EDAR Quart	No normalizar (5)	EDAR Pinedo	No normalizar (5)

A2.3.- Generación

Al incluir las EDARs, se vuelve a ejecutar Maswhin y se generan series sintéticas equiprobables a la histórica, en función de las fechas de estudio, para posteriormente incluirlas en Aquatool y poder ejecutar el módulo Simrisk.

Inicialmente se ejecutará en el mes de octubre de 2004 y posteriormente se seleccionarán otras fechas de estudio.

Es posible comprobar los estadísticos de sequía entre la serie histórica y la serie sintética para un caso cualquiera. En este caso, como ejemplo, se va a proceder a comprobar en Alarcón la simulación inicial en el que las EDARs no estaban incluidas y la normalización se había obtenido de forma manual mediante el mínimo error cuadrático.

Alarcón - Serie histórica								
%Q.MED	UMBRAL	# SEQUÍAS	D.MED	I.MED	M.MED	D.MÁX	I.MÁX	M.MÁX
90	22.28	27	7.3	11.91	68.57	20.0	18.42	244.97

Alarcón - Serie sintética								
%Q.MED	UMBRAL	# SEQUÍAS	D.MED	I.MED	M.MED	D.MÁX	I.MÁX	M.MÁX
90.0	22.17	33.1	5.6	12.13	55.78	20.0	21.85	247.76

Se puede comprobar que la serie sintética indica que va a haber más meses de sequía de los que se registran, aunque con una menor duración y magnitud media. Por lo tanto la series sintéticas dan valores aumentados de riesgo de lo que realmente ocurre en el sistema.