5 Estudio comparativo entre diferentes métodos

Las primeras series generadas por medio del PMC fueron comparadas sólo con las series reales, utilizándose dos parámetros para dicha comparación: por una parte el parámetro VRM y por otra parte las propias gráficas del índice de claridad. Puesto que los valores de VRM obtenidos fueron del orden de 0.2, o incluso menores que ese valor, todo parece indicar que las series sintéticas y las reales son muy similares. También, analizando las propias gráficas, se comprobó que los resultados obtenidos por medio del PMC y los resultados reales son muy similares. Sin embargo, con el fin de validar el método propuesto, no basta con que los resultados sean más o menos similares a los reales, sino que es necesario aplicar otra serie de parámetros estadísticos para ver en qué medida las series son indistinguibles entre sí, y, sobre todo, llevar a cabo comparaciones con los resultados obtenidos por otros métodos ya contrastados. De este modo, si los resultados que se obtienen en este estudio son equiparables y presumible mejores a los proporcionados por los métodos clásicos, se podrá afirmar que el método propuesto es válido.

5.1.- Variables estadísticas en estudio

Los parámetros estadísticos más comunes que se suelen emplear para comparar dos series y comprobar hasta qué punto se pueden considerar indistinguibles estadísticamente han sido los mismos que suelen emplear los investigadores de los métodos clásicos. Se han elegido los mismos parámetros con el fin de realizar un estudio comparativo y de validación similar al que ellos proponen. En ese sentido, las variables estadísticas con las que se va a trabajar son las siguientes (véase [2]):

a) Media Mensual (MM)

El primer parámetro estadístico en juego es la media mensual. La media mensual es simplemente la media de los valores de cierta magnitud (radiación global, índice de claridad, etc.) a lo largo de un mes. Este primer parámetro servirá para indicar hasta qué punto los valores de radiación sintéticos y los valores de radiación real son similares. Puesto que desde el principio se está trabajando con valores de índice de claridad, se obtendrá el valor medio mensual del índice de claridad, tanto para valores diarios como

horarios. Para el cálculo del valor medio mensual del índice de claridad horario correspondiente a cierta hora se ha de proceder de la siguiente forma:

En primer lugar se han de calcular los valores de la radiación extraterrestre o extraatmosférica [1], lo que se hace de forma totalmente determinista. Seguidamente, conocido también el índice de claridad horario (a partir de los datos reales o a partir de los obtenidos sintéticamente por los diferentes métodos en estudio) se ha de calcular la radiación global horaria sobre superficie horizontal, recordando la siguiente expresión:

$$I_h = I_{oh} \cdot k_{th} \tag{1}$$

siendo

I_h : radiación global horaria sobre superficie horizontal,

I_{oh} : radiación extraterrestre horaria sobre superficie horizontal,

k_{th} : índice de claridad horario.

A continuación se calculan los valores medios mensuales de ambas radiaciones según:

$$I_{hm} = \sum_h I_h \ / \ n, \tag{2}$$

$$I_{ohm} = \sum_h I_{oh} \ / \ n, \tag{3}$$

siendo ahora

I_{hm} : radiación global horaria media mensual sobre superficie horizontal,

I_{ohm} : radiación extraterrestre horaria media mensual sobre superficie horizontal,

y donde n es el número de días del mes.

Por último, el valor medio mensual del índice de claridad se calcula así:

$$k_{thm} = I_{hm} / I_{ohm} \tag{4}$$

con

k_{thm} : índice de claridad horario media mensual.

De forma similar, se procede para calcular el valor medio del índice de claridad diario, teniendo en cuenta que ahora se han de tomar valores diarios tanto de las radiaciones como del índice de claridad.

b) Desviación Estándar Mensual (DEM)

El siguiente parámetro estadístico importante es la Desviación Estándar Mensual (DEM), también sobre valores diarios y horarios del índice de claridad. Su expresión para el caso de valores horarios es la siguiente:

$$\sigma_{kth} = \sqrt{\sum_h (k_{th} - k_{thm})^2} / n. \qquad (5)$$

c) Varianza Residual Media (VRM)

Por supuesto, este parámetro, ya definido en un capítulo anterior, se seguirá empleando en este estudio comparativo con otros métodos.

c) Función de Distribución

Si una variable X puede tomar un conjunto discreto de valores X_1, X_2,...,X_k, con probabilidades respectivas p_1, p_2,....,p_k, donde la suma de todas esas probabilidades es uno, se dice que se tiene definida una *distribución de probabilidad discreta* para X. La función $p(X)$, que asocia a cada valor p_1, p_2,...,p_k a los correspondientes valores de X_1, X_2,...,X_k, se llama *función de probabilidad* o *función de frecuencia* de X. Esto que se acaba de describir es análogo a una distribución de frecuencias relativa, con probabilidad en lugar de frecuencia relativa. De forma que se puede pensar en las distribuciones de probabilidad como formas teóricas o ideales en el límite, de distribuciones de frecuencia relativa cuando el número de observaciones es muy grande. Acumulando probabilidades, se obtienen *distribuciones de probabilidad acumulada*, siendo la función asociada con esa distribución una *función de distribución*. Si se extienden todos estos conceptos a variables X que sean continuas, p(X) recibe en este caso el nombre de función de densidad de probabilidad, o simplemente función de densidad. Como en el caso discreto, se pueden definir funciones de distribución de probabilidad acumulada y las asociadas funciones de distribución.

En particular, para el caso de valores horarios de radiación solar, la función de distribución se define como la fracción esperada de un conjunto de eventos (de índice de claridad medio k_{thm}) que tienen un valor de índice de claridad menor que un valor particular k_{th}. Estudiando conjuntos de datos de radiación tanto horarios como diarios, agrupados por localidades y meses fijos, Liu y Jordan [3] descubrieron una importante

regla que gobierna la función de distribución del índice de claridad horario $f(k_{th})$: si dos conjuntos de datos de índice de claridad tienen el mismo valor de índice de claridad medio, se regirán por similares funciones $f(k_{th})$. Por ejemplo, si en Londres y para el mes de mayo y en Atenas y para el mes de octubre se tiene el mismo valor de k_{thm}, las frecuencias de k_{th} en ambos lugares y en los respectivos meses serán gobernadas por la misma función de distribución.

Esta regla implica que existe una función universal de dos variables $f(k_{th},k_{thm})$ válida para cualquier localidad en el mundo y para cualquier mes del año. Esta función de distribución se define como sigue: dado un conjunto suficientemente representativo de eventos, cada uno de los cuales pertenece a la misma localidad y mes, la fracción de eventos con valores de k_{th} menores que un valor particular de $k_{th}*$ es $f(k_{th}*,k_{thm})$. Alternativamente, $f(k_{th}*,k_{thm})$ es la probabilidad de que cualquier evento tenga un valor de k_{th} menor de $k_{th}*$.

Se han propuesto algunas ecuaciones y expresiones para calcular de forma sistemática la función de distribución. Una de las más aceptadas y que mejores resultados proporciona es la propuesta por Hollands y Hughet [4]. Esta expresión es:

$$f(k_{th},k_{thm}) = C / (k_{tu}\cdot\lambda\cdot\gamma)\cdot[e^{\lambda\cdot kth}(1-\gamma\cdot k_{th})-1] \quad (6)$$

con

$$C = \lambda^2\cdot k_{tu} / (e^{\lambda\cdot ktu}-1-\lambda\cdot k_{tu}) \quad (7)$$

$$k_{tu} = 0.864 \text{ (máximo } k_{th} \text{ observado)} \quad (8)$$

$$\gamma = \lambda / (1+\lambda\cdot k_{tu}) \quad (9)$$

$$k_{thm} = C / (\lambda^2\cdot k_{tu})\cdot[(2/\lambda + k_{tu})\cdot(1-e^{\lambda\cdot ktu}) + 2k_{tu}\cdot e^{\lambda\cdot ktu})] \quad (10)$$

Se utilizarán esas expresiones para incluirlas en las gráficas que muestren las función de distribución de los valores obtenidos sintéticamente y los valores reales del índice de claridad.

Las mismas definiciones y explicaciones son trasladables al caso de que se utilicen valores diarios del índice de claridad.

d) Autocorrelación

La autocorrelación hace referencia a la dependencia del valor de una determinada variable estadística para un tiempo t, con valores de esa misma variable

precedentes en el tiempo. La forma de estimar la autocorrelación en un período de tiempo B es:

$$r_B = C_B / C_0 \quad (11)$$

$$CB = (1/N) \Sigma (X(t) - X_{med})(X(t+B)-X_{med}) \quad (12)$$

con B = 0, 1,... y el sumatorio se extiende desde 1 a N-B,

N número de muestras,

X la variable estadística en estudio,

X_{med} la media de X,

t el tiempo

C_0 coincide con la varianza. Si r_B es nulo, indica que no existe ninguna relación entre el valor de la variable X en un instante t y los valores previos en el tiempo. El otro caso extremo es cuando r_B es uno, lo que indicaría una dependencia total.

5.2.- Series empleadas en las comparaciones

Con el fin de hacer las diferentes comparaciones se han generado series sintéticas de radiación solar según el PMC entrenado con la red única que utilizó el AMT de cada localidad, serie que se denominará PMC (a veces también se denominará NN de Neural Network) y series según los diferentes métodos descritos en el capítulo 3, cuya notación se recuerda que es:

- Método de Brinkworth : BW.
- Método de Bolieau: BO.
- Método de Bartoli: BA.
- Método de Mora-Sidrach: MS.
- Método de Graham-Hollands: GH.
- Método de Aguiar-Collares-Pereira: AC.
- Método de Mohandes. MH.

Puesto que algunos métodos sólo sirven para generar valores diarios (como por ejemplo el de Brinkworth o el de Boileau), mientras que otros sí pueden generar valores horarios, en las tablas que se presentan en los apartados siguientes, así como en los anexos, se utilizan en la comparación el mayor número de métodos posibles (para el caso de diarias), y sólo los métodos de MS, AC y GH en las comparaciones a escala

horaria. Se recuerda que se ha incluido en este estudio un método no clásico, el de Mohandes. La diferencia con respecto al propuesto en esta tesis, es que utiliza una red neuronal que hace uso de las funciones de base radial [5].

5.3.- Resultados

En este apartado se presentan algunas tablas y figuras con los resultados del estudio comparativo realizado. Aquí sólo se muestran una pequeña parte de tablas y figuras, estando el resto de la información en los anexos al final de la tesis. Se ha creído interesante a su vez, mostrar los resultados en dos apartados, uno para resultados utilizando las variables en escala horaria y otro en escala diaria. A su vez, en el caso de horarias, se muestran también por un lado los resultados iniciales cuando sólo se tenía la componente de tendencia y los resultados finales uniendo las dos componentes, tendencia y aleatoria.

5.3.1.- Valores horarios

Como ya se ha indicado, se muestran los resultados para la componente de tendencia y para la suma de componente de tendencia y aleatoria.

5.3.1.1.- Componente de tendencia

En las tablas siguientes se muestran los valores medios mensuales y desviación estándar mensual para algunas horas y algunas localidades, tanto de los datos reales como los sintéticos obtenidos por medio de PMC, AC y GH (en este caso no está incluido MS porque este método genera la serie completa y no desglosada en dos componentes).

Oviedo	**Hora de 9 a 10 a.m.**							
	Datos Reales		PMC		AC		GH	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.366	0.176	0.356	0.178	0.289	0.168	0.305	0.146
Febrero	0.393	0.210	0.424	0.198	0.376	0.197	0.371	0.178
Marzo	0.469	0.214	0.475	0.181	0.451	0.178	0.431	0.178
Abril	0.487	0.205	0.512	0.180	0.508	0.184	0.492	0.186
Mayo	0.311	0.196	0.290	0.137	0.284	0.152	0.269	0.142
Junio	0.414	0.220	0.445	0.175	0.456	0.189	0.440	0.190
Julio	0.462	0.195	0.491	0.175	0.508	0.172	0.490	0.182
Agosto	0.506	0.178	0.511	0.155	0.514	0.151	0.495	0.157
Septiembre	0.475	0.172	0.506	0.151	0.487	0.150	0.465	0.150
Octubre	0.455	0.226	0.483	0.193	0.447	0.196	0.436	0.186
Noviembre	0.349	0.168	0.385	0.143	0.329	0.140	0.336	0.124
Diciembre	0.405	0.193	0.363	0.143	0.332	0.153	0.349	0.129

Tabla 5.1. MM y DEM del índice de claridad. Oviedo. Año .984.

Madrid	**Hora de 14 a 15**							
	Datos Reales		PMC		AC		GH	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.452	0.142	0.450	0.159	0.437	0.162	0.431	0.145
Febrero	0.392	0.210	0.376	0.176	0.384	0.185	0.374	0.169
Marzo	0.548	0.202	0.558	0.120	0.610	0.129	0.595	0.133
Abril	0.539	0.226	0.482	0.165	0.553	0.181	0.538	0.186
Mayo	0.628	0.189	0.569	0.126	0.659	0.140	0.653	0.146
Junio	0.695	0.100	0.620	0.051	0.726	0.056	0.722	0.057
Julio	0.697	0.102	0.604	0.072	0.709	0.075	0.704	0.079
Agosto	0.707	0.102	0.617	0.081	0.711	0.086	0.704	0.093
Septiembre	0.580	0.188	0.505	0.149	0.565	0.161	0.549	0.165
Octubre	0.499	0.215	0.467	0.138	0.502	0.133	0.480	0.136
Noviembre	0.510	0.167	0.492	0.148	0.490	0.153	0.479	0.140
Diciembre	0.487	0.165	0.487	0.123	0.457	0.128	0.448	0.114

Tabla 5.2. MM y DEM del índice de claridad. Madrid. Año 1986.

Málaga	**Hora de 13 a 14**							
	Datos Reales		PMC		AC		GH	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.584	0.146	0.555	0.108	0.548	0.104	0.527	0.107
Febrero	0.577	0.180	0.554	0.142	0.567	0.154	0.551	0.154
Marzo	0.625	0.216	0.571	0.147	0.606	0.165	0.596	0.166
Abril	0.583	0.216	0.498	0.164	0.544	0.177	0.534	0.183
Mayo	0.550	0.226	0.511	0.139	0.573	0.145	0.564	0.155
Junio	0.681	0.120	0.611	0.088	0.686	0.092	0.685	0.098
Julio	0.676	0.078	0.598	0.050	0.669	0.053	0.670	0.055
Agosto	0.695	0.061	0.616	0.050	0.678	0.053	0.676	0.056
Septiembre	0.686	0.050	0.624	0.037	0.670	0.040	0.665	0.043
Octubre	0.656	0.117	0.606	0.075	0.632	0.078	0.618	0.086
Noviembre	0.462	0.238	0.428	0.189	0.423	0.199	0.409	0.188
Diciembre	0.501	0.158	0.460	0.137	0.446	0.136	0.427	0.129

Tabla 5.3. MM y DEM del índice de claridad. Málaga. Año 1984.

El primer comentario que se puede hacer a la vista de los resultados obtenidos en estas tres primeras tablas es indicar que tanto las medias mensuales como las desviaciones típicas de datos reales del índice de claridad son muy similares, a los obtenidos por los tres métodos. Asimismo, como se puede comprobar los valores proporcionados por el PMC son incluso más próximos a los reales, lo que indica un mejor funcionamiento del método propuesto en esta tesis.

En las siguientes tablas se muestran los valores de VRM para otras localidades.

P. Mallorca			
	VRM		
Año	PMC	AC	GH
1977	0.1303	0.1862	0.1906
1978	0.1120	0.1723	0.1787
1979	0.1237	0.1762	0.1786
1980	0.0987	0.1683	0.1701
1981	0.1173	0.1620	0.1595
1982	0.1186	0.1778	0.1753
1983	0.0964	0.1556	0.1533
1984	0.1054	0.1828	0.1874

Tabla 5.4. VRM del índice de claridad. P. Mallorca.

Badajoz			
		VRM	
Año	PMC	AC	GH
1976	0.1225	0.1786	0.1762
1977	0.1070	0.1703	0.1647
1978	0.1098	0.1597	0.1601
1979	0.1144	0.1781	0.1747
1980	0.0956	0.1629	0.1620
1981	0.1066	0.1752	0.1733
1982	0.0888	0.1659	0.1642
1983	0.0640	0.1196	0.1256

Tabla 5.5. VRM del índice de claridad. Badajoz.

Murcia			
		VRM	
Año	PMC	AC	GH
1977	0.1127	0.1633	0.1619
1978	0.1127	0.1655	0.1633
1979	0.1331	0.1895	0.1847
1980	0.1334	0.1775	0.1694
1981	0.1082	0.1777	0.1722
1982	0.1113	0.1753	0.1703
1983	0.1058	0.1741	0.1695
1984	0.1003	0.1723	0.1738

Tabla 5.6. VRM del índice de claridad. Murcia.

De nuevo, en el estudio de otro parámetro estadístico como es el valor de la varianza residual media (VRM), los resultados proporcionados por el PMC son ligeramente mejores que los proporcionados por AC y GH. Esto indica que las series sintéticas generadas por el PMC siguen la tendencia de las series reales algo mejor.

En las siguientes figuras se muestra la función de distribución, para tres localidades.

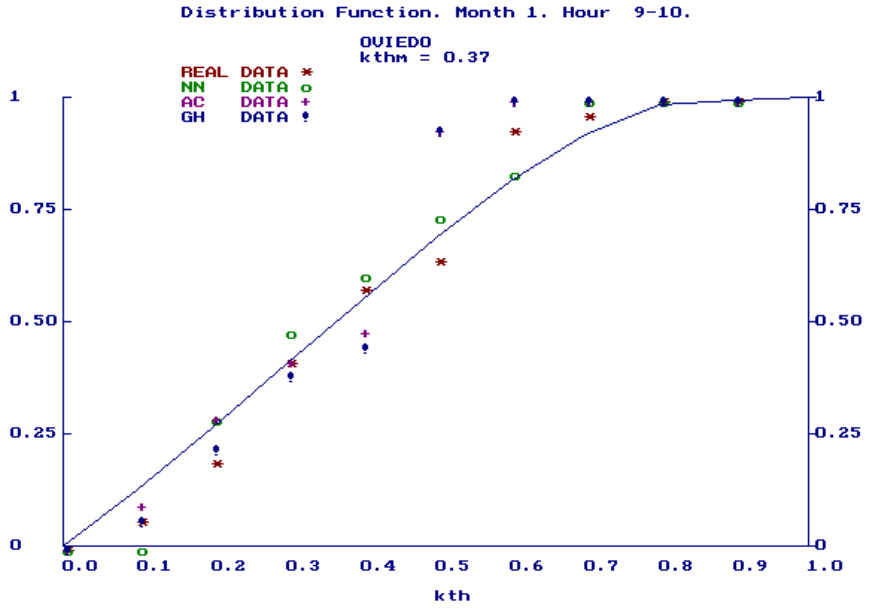

Figura 5.1. Función de distribución. Oviedo. Año 1984. Mes Enero. Hora 9-10.

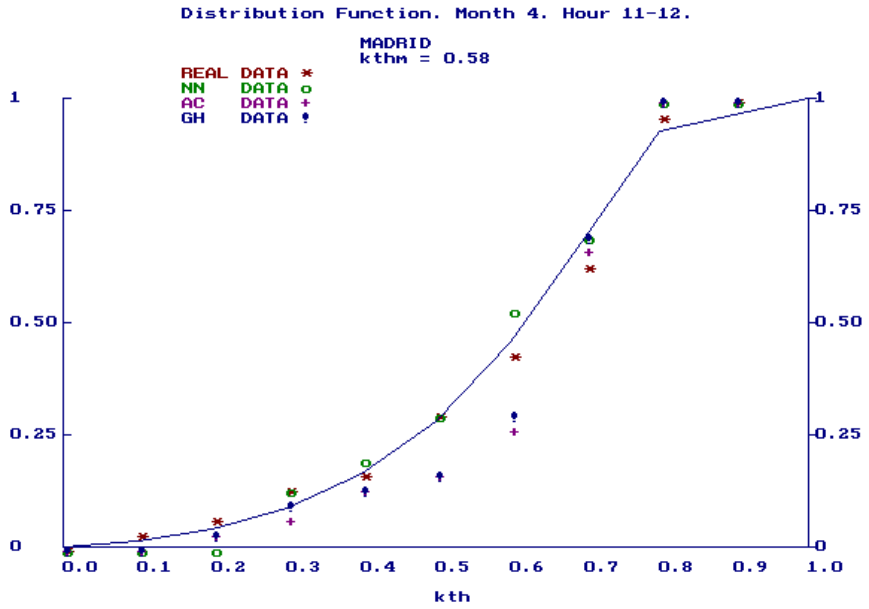

Figura 5.2. Función de distribución. Madrid. Año 1986. Mes Abril. Hora 11-12.

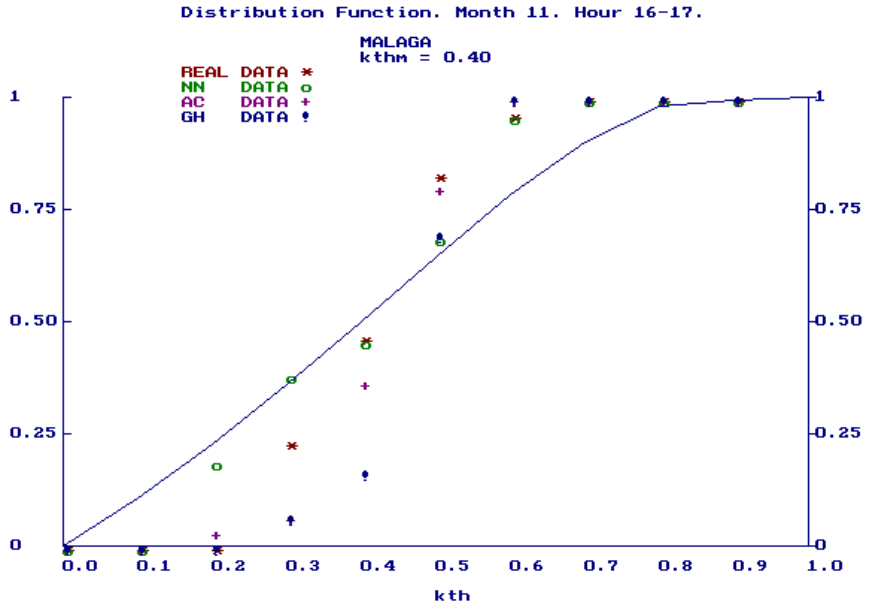

Figura 5.3. Función de distribución. Málaga. 1984. Mes Noviembre. Hora 16-17.

Como se puede observar en esas tres figuras, se han elegido horas diferentes y localidades distintas para representar la función de distribución. De este modo se observa que aunque la forma de la función de distribución real es diferente en cada figura representada, los datos obtenidos sintéticamente siguen distribuciones muy similares. En este caso no se pude afirmar que un método sea mejor que otro, puesto que los tres se ajustan muy bien, tanto a la forma de la función de distribución teórica, como a la de los datos reales.

5.3.1.1.- Series completas (tendencia más aleatoria)

En este apartado se muestran resultados similares a los presentados en el apartado anterior, pero ahora las series que se muestran para comparar son las que incluyen tanto la componente de tendencia como la aleatoria.

Los valores de MM y DEM en este caso son:

Oviedo	Hora de 9 a 10 a.m.									
	Datos Reales		PMC		AC		GH		MS	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.366	0.176	0.378	0.189	0.307	0.178	0.323	0.155	0.322	0.167
Febrero	0.393	0.210	0.400	0.187	0.355	0.186	0.350	0.168	0.353	0.173
Marzo	0.469	0.214	0.516	0.197	0.490	0.193	0.468	0.193	0.471	0.186
Abril	0.487	0.205	0.484	0.170	0.480	0.174	0.465	0.176	0.456	0.166
Mayo	0.311	0.196	0.274	0.129	0.268	0.144	0.254	0.134	0.254	0.130
Junio	0.414	0.220	0.484	0.190	0.496	0.205	0.478	0.207	0.466	0.192
Julio	0.462	0.195	0.521	0.186	0.539	0.182	0.520	0.193	0.504	0.179
Agosto	0.506	0.178	0.555	0.168	0.559	0.164	0.538	0.171	0.528	0.161
Sept.	0.475	0.172	0.537	0.160	0.517	0.159	0.493	0.159	0.494	0.153
Octubre	0.455	0.226	0.525	0.210	0.486	0.213	0.474	0.202	0.474	0.200
Nov.	0.349	0.168	0.364	0.135	0.311	0.132	0.317	0.117	0.317	0.123
Dic.	0.405	0.193	0.343	0.135	0.314	0.145	0.330	0.122	0.315	0.128

Tabla 5.7. MM y DEM del índice de claridad. Oviedo. Año 1984.

Madrid	Hora de 14 a 15 a.m.									
	Datos Reales		PMC		AC		GH		MS	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.452	0.142	0.431	0.145	0.477	0.169	0.463	0.172	0.438	0.155
Febrero	0.392	0.210	0.374	0.169	0.355	0.166	0.363	0.175	0.349	0.163
Marzo	0.548	0.202	0.595	0.133	0.607	0.130	0.663	0.140	0.596	0.129
Abril	0.539	0.226	0.538	0.186	0.455	0.156	0.522	0.171	0.484	0.164
Mayo	0.628	0.189	0.653	0.146	0.537	0.119	0.622	0.132	0.579	0.127
Junio	0.695	0.100	0.722	0.057	0.674	0.055	0.789	0.061	0.698	0.055
Julio	0.697	0.102	0.704	0.079	0.641	0.076	0.752	0.080	0.670	0.075
Agosto	0.707	0.102	0.704	0.093	0.671	0.088	0.773	0.093	0.686	0.088
Sept.	0.580	0.188	0.549	0.165	0.536	0.158	0.599	0.171	0.538	0.158
Octubre	0.499	0.215	0.480	0.136	0.508	0.150	0.546	0.145	0.490	0.138
Nov.	0.510	0.167	0.479	0.140	0.465	0.140	0.463	0.145	0.449	0.136
Dic.	0.487	0.165	0.448	0.114	0.460	0.116	0.432	0.121	0.428	0.112

Tabla 5.8. MM y DEM del índice de claridad. Madrid. Año 1986.

Málaga	Hora de 13 a 14 a.m.									
	Datos Reales		PMC		AC		GH		MS	
Mes	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}	k_{thm}	σ_{kth}
Enero	0.584	0.146	0.589	0.115	0.581	0.110	0.559	0.113	0.552	0.108
Febrero	0.577	0.180	0.523	0.134	0.536	0.145	0.520	0.145	0.504	0.136
Marzo	0.625	0.216	0.621	0.160	0.659	0.179	0.648	0.180	0.616	0.166
Abril	0.583	0.216	0.470	0.155	0.514	0.167	0.504	0.173	0.475	0.158
Mayo	0.550	0.226	0.483	0.131	0.541	0.137	0.533	0.146	0.497	0.132
Junio	0.681	0.120	0.664	0.096	0.746	0.100	0.745	0.107	0.688	0.097
Julio	0.676	0.078	0.634	0.053	0.710	0.056	0.711	0.058	0.656	0.054
Agosto	0.695	0.061	0.670	0.054	0.737	0.058	0.735	0.061	0.684	0.055
Sept.	0.686	0.050	0.662	0.039	0.711	0.042	0.705	0.046	0.664	0.041
Octubre	0.656	0.117	0.659	0.082	0.687	0.085	0.672	0.093	0.644	0.083
Nov.	0.462	0.238	0.404	0.179	0.400	0.188	0.386	0.178	0.380	0.174
Dic.	0.501	0.158	0.434	0.129	0.421	0.128	0.403	0.122	0.402	0.121

Tabla 5.9. MM y DEM del índice de claridad. Málaga. Año 1984.

Para el caso de los valores de VRM, en este caso suben un poco pero siguen siendo bastante bajos, como se observa en las siguientes tablas:

P. Mallorca				
	VRM			
Año	PMC	AC	GH	MS
1977	0.298	0.338	0.330	0.344
1978	0.285	0.325	0.342	0.339
1979	0.284	0.324	0.328	0.333
1980	0.247	0.316	0.318	0.313
1981	0.271	0.305	0.315	0.317
1982	0.292	0.325	0.336	0.340
1983	0.254	0.309	0.301	0.307
1984	0.239	0.326	0.335	0.321

Tabla 5.10. VRM del índice de claridad. P. Mallorca.

Badajoz				
		VRM		
Año	PMC	AC	GH	MS
1976	0.247	0.287	0.309	0.300
1977	0.234	0.288	0.289	0.289
1978	0.261	0.304	0.297	0.307
1979	0.238	0.277	0.289	0.287
1980	0.235	0.297	0.287	0.292
1981	0.262	0.305	0.299	0.309
1982	0.216	0.273	0.274	0.272
1983	0.254	0.308	0.316	0.313

Tabla 5.11. VRM del índice de claridad. Badajoz.

Murcia				
		VRM		
Año	PMC	AC	GH	MS
1977	0.241	0.286	0.287	0.290
1978	0.262	0.318	0.301	0.314
1979	0.284	0.305	0.321	0.324
1980	0.245	0.283	0.287	0.290
1981	0.234	0.285	0.284	0.286
1982	0.245	0.287	0.274	0.287
1983	0.261	0.309	0.309	0.313
1984	0.257	0.307	0.308	0.310

Tabla 5.12. VRM del índice de claridad. Murcia.

Los comentarios que se hicieron para las tablas 5.1 a 5.6 son válidos para todas estas tablas. La diferencia principal entre las series con sólo la componente de tendencia, y las series completas (componente tendencia y componente aleatoria), es que el rizado propio de las series completas afecta sobre todo a los valores de VRM. Estos valores son mayores con las series sintéticas completas puesto que las diferencias entre ellas y las series reales, debido a la aleatoriedad, suelen ser mayores.

Para finalizar este apartado, simplemente añadir que las gráficas que representan la función de distribución acumulada son muy similares a las anteriores.

5.3.2.- Valores diarios

Respecto a los valores diarios, los proporcionados por el PMC son también muy similares a los obtenidos por otros métodos y prácticamente indistinguibles de las series reales, tanto para MM, DEM, VRM. En los anexos se incluyen las tablas con estos resultados. Aquí simplemente se muestran, a modo de ejemplo, los resultados de VRM para diferentes métodos en la localidad de Logroño. También se representan los coeficientes de autocorrelación obtenidos para la serie sintética generada por el PMC frente a la real.

Logroño (VRM)							
Año	PMC	MH	AC	GH	MS	BW	BO
1981	1.3308	1.1102	1.7632	1.7412	1.7701	2.1875	2.0252
1982	1.3803	1.1175	1.7418	1.7006	1.7315	2.1976	1.9872
1983	1.3553	1.1143	1.7702	1.7413	1.8145	2.1467	1.9975
1984	1.2827	1.0123	1.7262	1.6377	1.7118	2.1323	2.0013

Tabla 5.13. VRM del índice de claridad Diarios. Logroño.

Se observa que el método de Mohandes mejora incluso los resultados del PMC, incluso en los entrenamientos es más rápido que el PMC. Sin embargo presenta el inconveniente que es algo más complejo de usar.

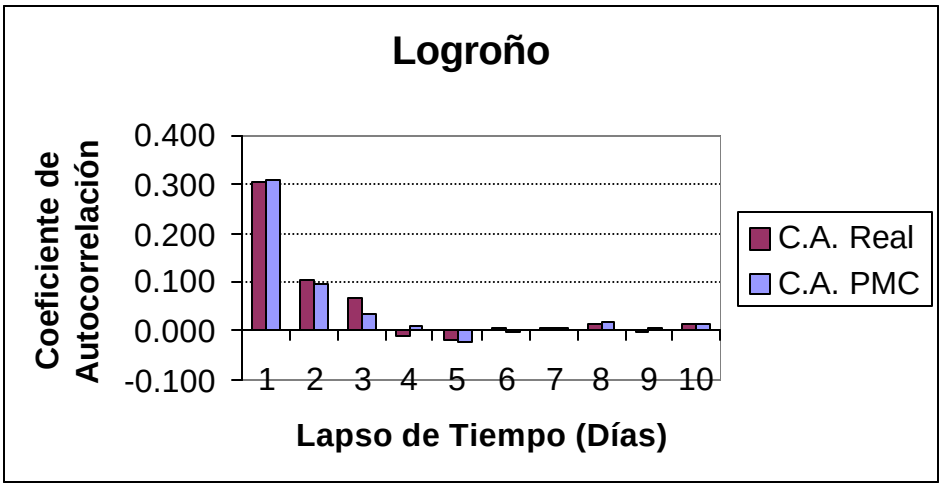

Figura 5.4. Coeficientes de autocorrelación de la radiación global diaria. Logroño.

Por último, indicar que como se ve en la figura 5.4, la dependencia entre un día y el anterior, para la radiación global diaria, es importante, pero disminuye significativamente al aumentar el lapso de tiempo. Esto indica claramente, que para el entrenamiento de las series diarias basta con tomar como referencia el valor del día anterior al que se quiere obtener.

Referencias

[1] M. Iqbal. *An introduction to solar radiation.* Academic Press. 1983.

[2] M.R. Spiegel. *Estadística.* McGraw Hill. Colombia. 1998.

[3] B. Liu and R. Jordan. *The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse and total solar radiation.* Solar Energy **4**. 1-19. 1960.

[4] K. Hollands and R. Hughet. *A probability density function for the clearness index with applications.* Solar Energy **30**. pp.195-209. 1983

[5] B. Martín del Brio, A. Sanz Molina. *Redes neuronales y sistemas borrosos.* Editorial RA-MA .2001.