

## **GENERACION DE SERIES SINTÉTICAS DE VALORES DIARIOS DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL USANDO MATRICES DE TRANSICION DE MARKOV DESARROLLADAS A PARTIR DE DATOS DE ARGENTINA**

**R. Aristegui, C. Raichijk**

GERSolar, Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Departamento de Ciencias Básicas,  
Universidad Nacional de Luján, Ruta 5 y Avda. Constitución, (6700) Luján,  
Buenos Aires, ARGENTINA, Tel. /Fax: (54-2323) 440241, E-mail: gersolar@yahoo.com.ar

**RESUMEN:** En este trabajo se generan series sintéticas que brindan un año de valores diarios del índice de claridad (kt) para 3 localidades de la Argentina de las cuales se tienen valores medios mensuales históricos. Para ello se construye una biblioteca de 10 matrices de transición de Markov, cada una asociada a un intervalo de valores de kt medio mensual. Estas matrices contienen la información de las probabilidades de transición de los valores de radiación diaria de una clase a otra, en días consecutivos, habiéndose utilizado una base de datos medidos provenientes de 25 estaciones, tomados entre 1978 y 2008, trabajándose con 1789 meses. Se generaron series sintéticas de un año para tres localidades no utilizadas en la base original, usando como dato de entrada el valor medio mensual histórico de la radiación en cada localidad. Se comparan las series generadas con las que se obtienen para las mismas localidades utilizando una biblioteca de matrices de transición construida en base a datos del hemisferio norte. Se comparan estimadores estadísticos para las series generadas con ambas bibliotecas encontrándose un desempeño similar.

**Palabras clave:** Series sintéticas, Matrices de transición de Markov, índice de claridad.

### **INTRODUCCIÓN**

Estudios detallados de diseño y predicción de la respuesta de un sistema aplicado de aprovechamiento de la energía solar exigen contar con series continuas de distinta extensión temporal de valores diarios de irradiación solar global incidente en el sitio de instalación. Debido a que en numerosas localidades se mide o se estima, a partir de datos satelitales, redes neuronales, correlación con datos de heliofanía, el valor medio mensual de la irradiación y no los valores diarios, es frecuente recurrir a distintos modelos numéricos para generar secuencias sintéticas de estos valores que sean estadísticamente comparables a las series reales.

Existen distintos métodos para generar series sintéticas, esencialmente, métodos auto regresivos (modelos ARMA, auto-regressive moving average) por un lado y, por otro, modelos que utilizan un análisis markoviano de primer orden (cadenas de Markov de dos estados (Maafi et al., 1998), cadenas de Markov de cuatro estados (Sangisolo, 1997). Los modelos auto regresivos se basan en simplificaciones estadísticas que los datos de radiación medidos no siempre cumplen y han sido comparados con los modelos markovianos con ventaja para estos últimos. (Kamal et al., 1999)

Aguiar et al. (1988) comprobaron que es posible generar secuencias sintéticas de valores diarios de irradiación global a partir del dato más frecuentemente disponible de un lugar que es el valor medio mensual, ya sea medido o estimado. Se desarrollaron en dicho trabajo las llamadas Matrices de Transición de Markov (MTM) cuyos elementos representan las probabilidades de transición de un estado determinado a otro de valores consecutivos de una serie. Las secuencias generadas por este método demuestran ser estadísticamente significativas y comparables a las series reales. Distintos autores, a partir de datos medidos de diferentes lugares, han desarrollado librerías de matrices MTM. El método de matrices de transición de Markov ha sido usado con datos de radiación diaria estimados a partir de imágenes satelitales (Frulla et al., 1991) y se ha utilizado para generar series diarias de valores de radiación teniendo como entrada valores medios mensuales estimados a partir de redes neuronales (Mellit et al., 2005).

La justificación del método MTM surge de dos observaciones básicas a lo largo de muchos años de medición de irradiación solar en muchas localidades ampliamente dispersas:

1. Cualquier valor de irradiación diaria muestra una significativa correlación sólo con el valor de irradiación del día precedente (Amato et al. 1987).
2. La función densidad de probabilidad para un mes está asociada sólo con el promedio del índice de claridad para ese período y no depende de la época del año ni del lugar.

La primera observación nos permite hacer un análisis estocástico markoviano de primer orden, utilizando matrices de transición que contienen las probabilidades de transición de los valores de kt diarios de una clase a otra. La segunda observación nos permite generar, a partir de datos medidos disponibles, una biblioteca de diez matrices, cada una correspondiendo a un intervalo del valor medio mensual de kt (clases previamente definidas). Estas matrices pueden ser usadas para generar secuencias de kt diarios para cualquier localidad, conociendo sólo los valores medios mensuales

históricos  $\langle kt \rangle$  en ese lugar. De acuerdo al valor medio mensual histórico de un dado mes se selecciona la matriz que se usará, se invierte el proceso y se genera una serie de valores diarios.

Basándonos en estas dos observaciones y partiendo de una base de datos temporalmente extensa (cuyas estaciones se informan en la Tabla 1), correspondientes a estaciones dispersas de la República Argentina (datos de la Red Solarimétrica), se realizó un análisis del tipo markoviano de primer orden, obteniéndose una colección de matrices de transición que representan la probabilidad de que el valor diario del índice de claridad tenga dos determinados valores en dos días sucesivos. Con estas matrices se generaron series de datos diarios para tres localidades, tomando como dato el  $\langle kt \rangle$  histórico.

## MATERIALES Y MÉTODO

El trabajo se organizó en dos líneas principales.

a) Por un lado la generación de series sintéticas de valores diarios de radiación solar global, utilizando la biblioteca de matrices desarrolladas por Aguiar en base a datos de 348 meses, correspondientes a 8 estaciones europeas. La máxima extensión de esta base de datos en la misma estación es de 5 años. Las series se generaron con valores medios mensuales históricos calculados para una serie de estaciones localizadas en sitios diversos de Argentina.

b) Por otro se calcularon matrices de transición de Markov usando datos de 1789 meses correspondientes a 25 localidades de la República Argentina, en un amplio rango de latitudes y dentro del período 1978-2008.

Para construir las matrices de transición calculadas con valores de estaciones del país se siguieron los siguientes pasos:

1. Luego de calcular los  $\langle kt \rangle$  para todos los meses de todas las localidades de la base de datos, se definieron 10 intervalos de valores (clases) para los  $\langle kt \rangle$ , no todos de la misma extensión. El primero entre 0 y 0,3 ; el último entre 0,7 y 1; y los restantes 8 intervalos de extensión 0,05.
2. Dentro de la base de datos medidos, se agruparon los meses con  $\langle kt \rangle$  en cada una de las clases definidas. Estos grupos, entonces, se conformaron con valores de diferentes épocas del año, de distintos años y de distintas localidades. Con cada grupo se generó cada matriz de las 10 que componen la biblioteca.
3. Dentro de cada uno de estos diez grupos se tomaron los  $kt$  diarios máximo y mínimo, y se dividió el intervalo entre ellos en 10 subintervalos (estados) de igual extensión. De manera que a cada dato diario le correspondió un número de estado. Utilizando todas las parejas obtenidas de valores correspondientes a días consecutivos y sus correspondientes estados, se pudo calcular la probabilidad de transición de un estado  $i$  a otro estado  $j$ . Estos valores produjeron una matriz de  $10 \times 10$  que fue normalizada por fila (por ejemplo la fila 1 contiene las probabilidades de transición de un día de estado 1 a un día de cada uno de los diez estados posibles)
4. Se procedió de la misma manera para cada uno de los 10 intervalos de clase de  $\langle kt \rangle$ , obteniéndose las 10 matrices de transición, cada una con sus correspondientes 10 estados definidos.

Se eligieron 3 estaciones diferentes de prueba con valores históricos de  $\langle kt \rangle$ , cuyos datos medidos por la Red Solarimétrica no formaron parte de la base usada para construir las matrices. Para generar las secuencias anuales de  $kt$  diarios para estas estaciones se procedió como sigue:

1. Conociendo el  $\langle kt \rangle$  histórico de enero, se tomó la matriz del intervalo correspondiente. Se generó un número aleatorio para el intervalo de  $kt$  diario de partida.
2. Con un generador aleatorio se obtuvo un número ( $Z$ ) entre 0 y 1 para cada día del año. Para encontrar el número de estado del primer día de enero se sumaron los valores de la fila de la matriz correspondiente al estado inicial hasta obtener un número mayor que  $Z$ . El número de orden del último valor de la fila sumado es el número de estado del primer día.
3. Se le asignó a ese día, como valor de  $kt$ , el punto medio del intervalo de estado correspondiente.
4. Se repitió el proceso con este nuevo estado inicial, otro número aleatorio y la misma matriz.
5. Una vez generado el mes completo siguiendo esta secuencia, se calculó el  $\langle kt \rangle$  así obtenido. Si éste difería en más de 0,01 respecto del  $\langle kt \rangle$  histórico, se desechó la serie y se repitió el proceso hasta que se cumpliera la condición. En la mayoría de los casos esta aproximación se consiguió al cabo de menos de 5 intentos.

Localidad	Latitud (S)	Longitud (O)	Período	Localidad	Latitud (S)	Longitud (O)	Período
Abra Pampa	22,85	65,85	79,81,82,84,85,88	Oliveros	32,55	60,85	82-95
Alto Valle	39,00	67,57	79-88	Pergamino	33,93	60,33	81,82,89
Balcarce	37,75	58,3	82,83,85,00,01,02	Rafaela	31,28	61,55	79-96
Cerrillos	24,90	65,47	81-99	Rama Caída	34,65	68,38	80-85
Cerro Azul	27,39	55,43	79-88, 91-01	Río Cuarto	32,08	64,23	84,85,88,89
Colonia Santa Rosa	23,37	58,12	81-88	Pres.Roque Sáenz Peña	26,87	60,4	80.86
El Colorado	26,30	59,37	85-86	San Carlos	25,90	69,04	78-93
El Sombrerito	27,65	59,47	79-86	San Juan	34,55	68,42	81-86
Famaillá	27,00	65,41	78-86	San Miguel	34,55	58,73	79-08
La Rioja	29,41	66,82	83-86, 90-92	Trelew	43,23	65,27	82-92
La Consulta	33,73	69,07	80-86	Ushuaia	54,80	68,32	86-90
Marcos Juárez	41,68	62,15	78-84	Villa Mercedes	33,72	65,38	80-84
Mercedes	29,15	58,02	80-88				

Tabla 1: Latitud y período de medición de las estaciones utilizadas para construir la biblioteca de matrices (MTM).

## RESULTADOS

Las tablas de 1 a 10 muestran los elementos de cada una de las 10 matrices de transición. La Tabla 11 da los valores de  $kt$  máximo y mínimo para cada clase, entre los cuales se definieron los diez intervalos de estados para cada matriz.

0,348	0,196	0,174	0,109	0,087	0,043	0,000	0,043	0,000	0,000
0,240	0,200	0,140	0,160	0,180	0,040	0,040	0,000	0,000	0,000
0,139	0,222	0,139	0,222	0,139	0,056	0,000	0,000	0,083	0,000
0,102	0,163	0,143	0,102	0,265	0,143	0,061	0,020	0,000	0,000
0,047	0,141	0,094	0,234	0,344	0,078	0,047	0,000	0,000	0,016
0,043	0,087	0,087	0,087	0,261	0,304	0,087	0,000	0,000	0,043
0,118	0,176	0,059	0,118	0,235	0,059	0,176	0,000	0,059	0,000
0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000	0,000	0,200
0,200	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200	0,000
0,000	0,000	0,200	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,200	0,400

Tabla 1: Matriz de transición para  $\langle kt \rangle \leq 0,3$ .

0,203	0,297	0,162	0,068	0,122	0,122	0,000	0,014	0,014	0,000
0,118	0,255	0,209	0,124	0,098	0,144	0,039	0,013	0,000	0,000
0,075	0,186	0,236	0,161	0,180	0,087	0,037	0,019	0,019	0,000
0,046	0,153	0,176	0,183	0,206	0,160	0,046	0,008	0,015	0,008
0,048	0,101	0,125	0,167	0,280	0,137	0,113	0,024	0,006	0,000
0,038	0,069	0,119	0,132	0,195	0,277	0,126	0,019	0,019	0,006
0,067	0,100	0,133	0,044	0,100	0,189	0,256	0,078	0,022	0,011
0,071	0,071	0,036	0,179	0,107	0,143	0,143	0,179	0,071	0,000
0,000	0,053	0,105	0,158	0,000	0,053	0,158	0,105	0,368	0,000
0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000

Tabla 2: Matriz de transición para  $0,3 < \langle kt \rangle \leq 0,35$ .

0,211	0,137	0,112	0,143	0,099	0,087	0,112	0,068	0,031	0,000
0,090	0,184	0,191	0,114	0,120	0,117	0,097	0,057	0,030	0,000
0,036	0,133	0,181	0,186	0,094	0,133	0,131	0,075	0,031	0,000
0,054	0,131	0,173	0,134	0,128	0,168	0,122	0,048	0,040	0,003
0,042	0,089	0,100	0,166	0,163	0,199	0,141	0,072	0,022	0,006
0,058	0,084	0,093	0,088	0,154	0,224	0,191	0,076	0,029	0,002
0,024	0,058	0,090	0,082	0,129	0,185	0,315	0,079	0,036	0,002
0,028	0,031	0,063	0,085	0,110	0,129	0,163	0,301	0,088	0,003
0,027	0,041	0,041	0,075	0,027	0,088	0,143	0,272	0,265	0,020
0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,083	0,083	0,083	0,417	0,083

Tabla 3: Matriz de transición para  $0,35 < \langle kt \rangle \leq 0,4$ .

0,112	0,258	0,116	0,120	0,107	0,112	0,090	0,077	0,004	0,004
0,059	0,202	0,191	0,139	0,096	0,117	0,096	0,077	0,021	0,002
0,044	0,134	0,156	0,149	0,137	0,149	0,132	0,085	0,014	0,002
0,046	0,086	0,122	0,149	0,170	0,161	0,152	0,094	0,020	0,000
0,026	0,083	0,099	0,135	0,165	0,194	0,177	0,105	0,016	0,000
0,020	0,078	0,080	0,110	0,146	0,257	0,193	0,097	0,021	0,000
0,029	0,055	0,055	0,084	0,100	0,198	0,324	0,132	0,021	0,001
0,019	0,044	0,055	0,055	0,081	0,109	0,233	0,376	0,027	0,001
0,000	0,034	0,056	0,056	0,062	0,051	0,163	0,315	0,258	0,006
0,000	0,000	0,143	0,000	0,143	0,143	0,143	0,286	0,143	0,000

Tabla 4: Matriz de transición para  $0,4 < \langle kt \rangle \leq 0,45$ .

0,131	0,168	0,144	0,124	0,107	0,077	0,117	0,104	0,027	0,000
0,048	0,152	0,151	0,139	0,118	0,114	0,140	0,126	0,013	0,000
0,026	0,109	0,150	0,128	0,130	0,140	0,159	0,142	0,015	0,001
0,031	0,087	0,101	0,118	0,139	0,153	0,163	0,183	0,025	0,001
0,025	0,078	0,094	0,125	0,131	0,167	0,200	0,157	0,020	0,003
0,030	0,061	0,080	0,089	0,141	0,203	0,203	0,169	0,021	0,003
0,019	0,053	0,062	0,068	0,103	0,170	0,322	0,188	0,013	0,002
0,011	0,038	0,041	0,051	0,073	0,095	0,220	0,438	0,031	0,001
0,009	0,013	0,025	0,025	0,063	0,085	0,150	0,351	0,266	0,013
0,000	0,080	0,080	0,040	0,120	0,160	0,120	0,120	0,080	0,200

Tabla 5: Matriz de transición para  $0,45 < \langle kt \rangle \leq 0,5$ .

0,070	0,148	0,128	0,160	0,109	0,125	0,160	0,097	0,004	0,000
0,046	0,129	0,108	0,112	0,132	0,160	0,201	0,104	0,009	0,000
0,022	0,094	0,104	0,129	0,136	0,168	0,218	0,121	0,007	0,001
0,020	0,074	0,082	0,101	0,151	0,158	0,289	0,120	0,003	0,002
0,019	0,057	0,077	0,090	0,148	0,197	0,294	0,106	0,009	0,002
0,017	0,052	0,058	0,084	0,137	0,239	0,312	0,094	0,007	0,000
0,011	0,036	0,048	0,061	0,091	0,175	0,464	0,110	0,003	0,001
0,008	0,014	0,027	0,039	0,066	0,106	0,335	0,397	0,009	0,000
0,000	0,000	0,056	0,093	0,084	0,121	0,262	0,271	0,093	0,019
0,077	0,077	0,077	0,077	0,077	0,231	0,000	0,154	0,077	0,154

Tabla 6: Matriz de transición para  $0,5 < \langle kt \rangle \leq 0,55$ .

0,051	0,101	0,121	0,091	0,131	0,111	0,242	0,131	0,020	0,000
0,024	0,106	0,099	0,075	0,147	0,109	0,259	0,174	0,007	0,000
0,012	0,052	0,074	0,099	0,117	0,164	0,318	0,151	0,010	0,002
0,017	0,047	0,068	0,110	0,106	0,158	0,319	0,161	0,012	0,003
0,016	0,042	0,057	0,079	0,126	0,161	0,348	0,162	0,008	0,001
0,010	0,030	0,047	0,069	0,137	0,207	0,382	0,104	0,015	0,000
0,007	0,019	0,029	0,049	0,086	0,171	0,505	0,128	0,005	0,001
0,006	0,012	0,021	0,039	0,062	0,097	0,320	0,432	0,011	0,001
0,000	0,000	0,009	0,090	0,072	0,099	0,297	0,234	0,198	0,000
0,077	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	0,154	0,154	0,154	0,385

Tabla 7: Matriz de transición para  $0,55 < \langle kt \rangle \leq 0,6$ .

0,063	0,125	0,063	0,188	0,063	0,000	0,250	0,188	0,063	0,000
0,029	0,029	0,103	0,147	0,044	0,132	0,132	0,279	0,088	0,015
0,011	0,086	0,140	0,022	0,043	0,183	0,086	0,237	0,183	0,011
0,007	0,028	0,028	0,111	0,118	0,097	0,188	0,313	0,097	0,014
0,000	0,029	0,033	0,057	0,081	0,129	0,234	0,306	0,091	0,038
0,005	0,027	0,044	0,041	0,095	0,158	0,272	0,299	0,056	0,005
0,005	0,019	0,013	0,037	0,060	0,143	0,359	0,332	0,026	0,006
0,003	0,009	0,015	0,025	0,036	0,084	0,248	0,533	0,046	0,003
0,004	0,011	0,029	0,040	0,047	0,068	0,104	0,353	0,306	0,040
0,000	0,000	0,022	0,022	0,022	0,089	0,067	0,156	0,311	0,311

Tabla 8: Matriz de transición para  $0,6 < \langle kt \rangle \leq 0,65$ .

0,000	0,200	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200	0,000	0,000	0,200
0,105	0,053	0,105	0,105	0,053	0,053	0,158	0,158	0,053	0,158
0,043	0,043	0,043	0,130	0,087	0,217	0,087	0,217	0,087	0,043
0,000	0,033	0,033	0,067	0,067	0,200	0,233	0,300	0,067	0,000
0,014	0,042	0,056	0,028	0,056	0,099	0,310	0,310	0,070	0,014
0,008	0,024	0,041	0,033	0,049	0,114	0,382	0,293	0,049	0,008
0,000	0,010	0,012	0,012	0,067	0,129	0,505	0,254	0,010	0,002
0,000	0,007	0,007	0,017	0,061	0,070	0,281	0,523	0,029	0,005
0,016	0,000	0,048	0,000	0,048	0,063	0,095	0,333	0,349	0,048
0,000	0,042	0,000	0,083	0,000	0,000	0,125	0,083	0,208	0,458

Tabla 9: Matriz de transición para  $0,65 < \langle kt \rangle \leq 0,7$ .

0,125	0,000	0,125	0,000	0,125	0,125	0,125	0,125	0,250	0,000
0,000	0,000	0,083	0,167	0,083	0,000	0,000	0,417	0,000	0,250
0,077	0,000	0,000	0,077	0,154	0,154	0,154	0,231	0,077	0,077
0,000	0,077	0,000	0,038	0,077	0,077	0,154	0,462	0,077	0,038
0,032	0,000	0,032	0,065	0,129	0,032	0,226	0,290	0,129	0,065
0,019	0,058	0,058	0,000	0,135	0,135	0,212	0,288	0,038	0,058
0,017	0,017	0,025	0,042	0,025	0,092	0,269	0,403	0,101	0,008
0,000	0,000	0,010	0,031	0,021	0,090	0,170	0,587	0,073	0,017
0,011	0,033	0,000	0,054	0,065	0,033	0,087	0,217	0,435	0,065
0,000	0,053	0,000	0,026	0,000	0,053	0,053	0,079	0,289	0,447

Tabla 10: Matriz de transición para  $\langle kt \rangle \geq 0,7$ .

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kt mín	0,006	0,004	0,004	0,002	0,005	0,004	0,009	0,003	0,060	0,193
kt máx	0,743	0,862	0,809	0,868	0,885	0,916	0,928	0,905	0,891	0,898

Tabla 11: Valores mínimos y máximos de  $kt$  para cada matriz

El proceso de generación de series diarias de índice de transparencia fue realizado para 3 estaciones seleccionadas. Para cada localidad se generaron dos series anuales distintas, la primera (serie I) usando las matrices desarrolladas en este trabajo y la segunda (serie II) usando las matrices dadas por Aguiar et al (1988). En todos los casos los  $\langle kt \rangle$  de las series generadas difieren en menos de 0,01 de los  $\langle kt \rangle$  de los datos históricos. En la tabla 12 se muestran las latitudes de las tres localidades y tres valores de  $kt$  anual: el valor histórico, el valor correspondiente a la serie I y el valor correspondiente a la serie II.

Localidad	Latitud (S)	kt anual histórico	kt anual I	kt anual II
Córdoba	31,40	0,511	0,511	0,512
Rosario de la Frontera	25,78	0,463	0,461	0,465
Bariloche	41,10	0,562	0,563	0,562

Tabla 12: Latitudes y valores de kt (histórico, serie I y serie II) para las tres localidades elegidas.

Se calculó la probabilidad de ocurrencia para cada clase de kt diario para ambas series (I y II) de cada estación de prueba. En la Figura 1 se grafican los resultados obtenidos.

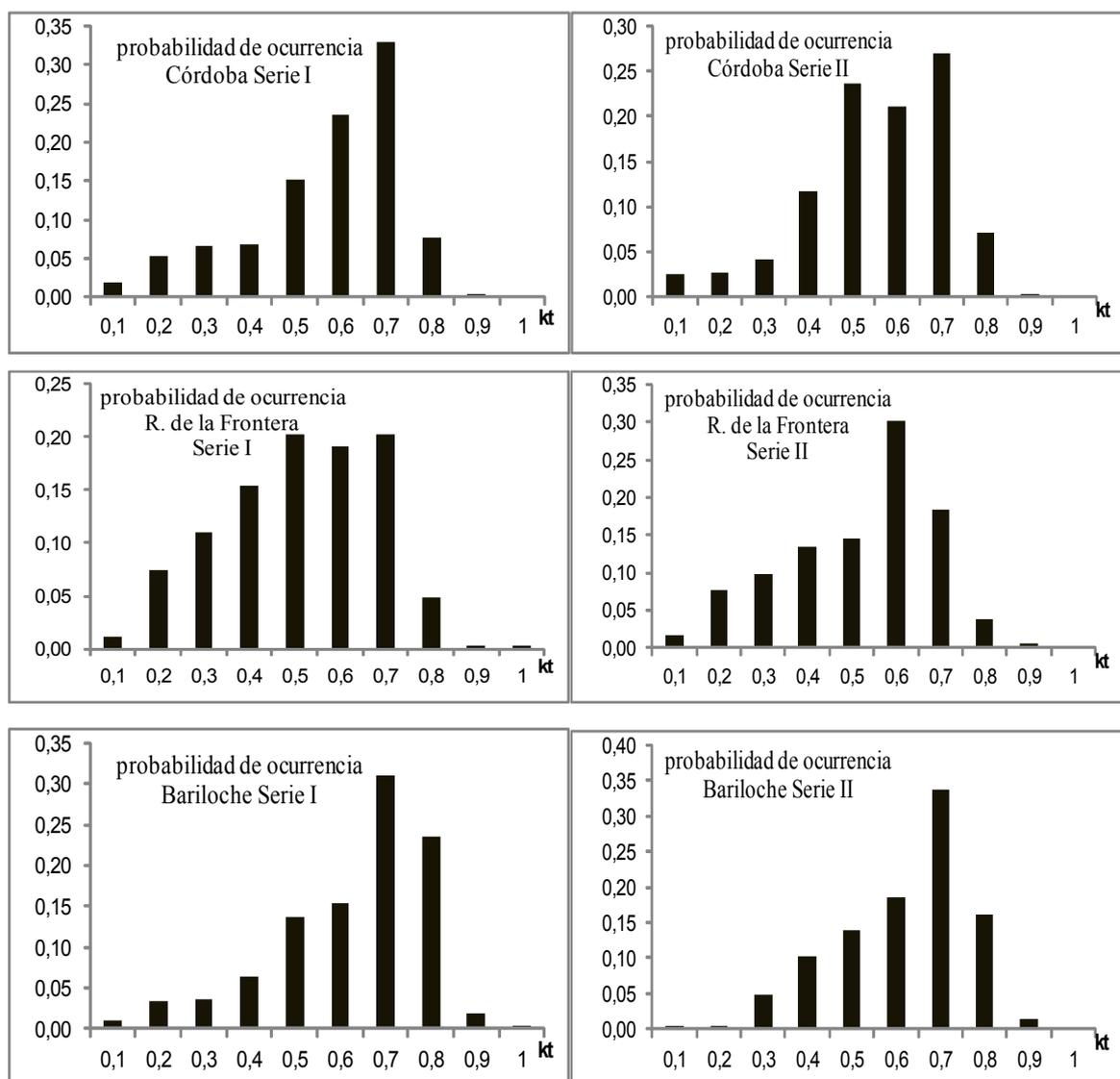


Figura 1: Probabilidad de ocurrencia de valores diarios de kt en intervalos de 0,1 en 0,1, para las series I (matrices de este trabajo) y II (matrices de Aguiar et al., 1988).

Se calculó la autocorrelación con corrimientos desde 1 a 10 días para ambas series (I y II) de cada estación de prueba. En la Figura 2 se grafican los resultados obtenidos.

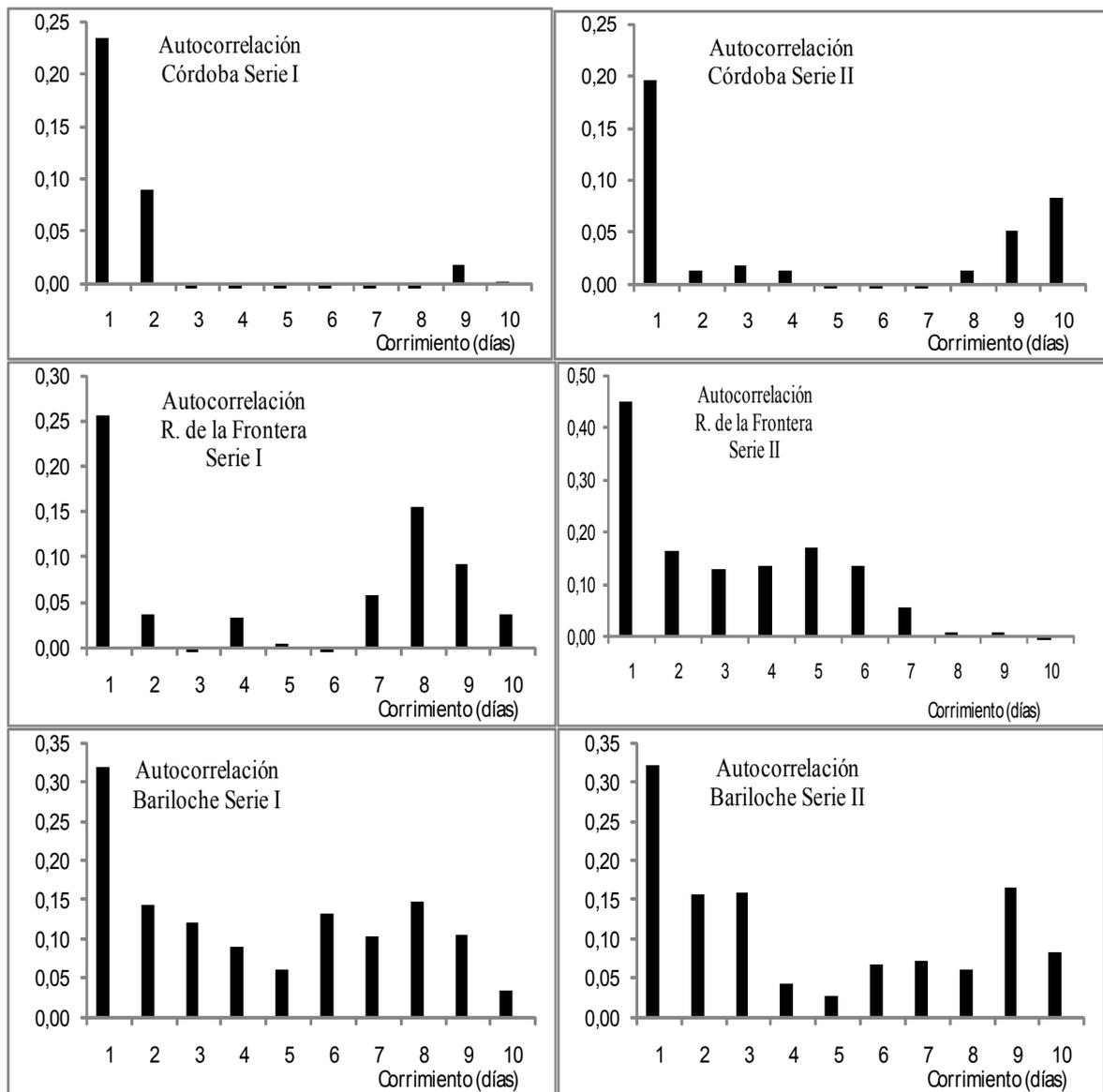


Figura 2: Autocorrelación para las series I (matrices de este trabajo) y II (matrices de Aguiar et al.,1988) en las tres localidades de prueba..

De los gráficos anteriores se desprende que la autocorrelación calculada para las tres localidades presenta un comportamiento aceptable, compatible con la observación básica que afirma una fuerte dependencia entre la radiación de un día y el precedente. Básicamente esto es lo que muestra la fig.2. En todos los casos, la correlación más fuerte se verifica para un corrimiento de un día, mientras que disminuye fuertemente para los días sucesivos.

### CONCLUSIONES

Se ha generado una biblioteca de 10 matrices que permiten obtener, de manera simple, secuencias de datos diarios de índice de claridad con una cantidad mínima de datos de entrada (valores medios mensuales históricos de kt) en sitios diversos de Argentina. Las series así obtenidas han presentado buenos ajustes estadísticos con los valores de las series reales. Es claro que el proceso funciona igualmente bien con las matrices desarrolladas en este trabajo tanto como con las de Aguiar.

No obstante, si bien se supone que las matrices de transición podrían tener alcance universal, Aguiar ha encontrado que para algunas estaciones las series obtenidas que no cumplen con algunas de las pruebas estadísticas requeridas, presumiblemente por corresponder a estaciones donde los valores de radiación están correlacionados más fuertemente con días anteriores. No se cumple en esos casos el requerimiento que el valor de radiación diaria se correlacione sólo con el valor de radiación del día precedente. Es posible, entonces, que las matrices de transición tengan dependencia regional o local, lo que justifica el intento de calcularlas para distintas zonas de nuestro país. Calcularlas con datos provenientes de series de datos de radiación provenientes de otros sitios de Argentina y compararlas entre sí puede ser una tarea a desarrollar en el futuro.

Otra línea interesante a desarrollar consiste en simular el funcionamiento de un sistema de aprovechamiento de la radiación solar, utilizando la serie generada, para evaluar su desempeño en función de eventos que consistan en varios días consecutivos de bajo kt. Esta serie de días suele ser clave en las posibilidades de recuperación de los sistemas.

## REFERENCIAS

- Aguiar R.J., Collares-Pereira M., Conde J.P. (1988) Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices. *Solar Energy*, 40, 3, 269-279.
- Amato U., Andreta A., Bartoli B., Coluzzi B., Cuomo V., Fontana F., Serio C. (1986) Markov processes and Fourier analysis as a tool to describe and simulate daily solar irradiance. *Solar Energy*, 37, 3, 179-194.
- Frulla L., Pettigiani E., Grossi Gallegos H., Atienza G. (1991) Construcción y análisis de series temporales de radiación solar global obtenidas a partir de observaciones GOES. *Memorias del V Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, Cusco, Perú, 188-202.
- Kamal L., Zahra Jafrib Y. (1999) Stochastic modeling and generation of synthetic sequences of hourly global solar irradiation at Quetta, Pakistan. *Renewable Energy* 18, 565-572.
- Maafi A., Adane A. (1998) Analysis of the performances of the first-order two-state markov model using solar radiation properties. *Renewable Energy*, 13, 2, 175-193.
- Mellit A., Benghanem M., Hadj Arab A., Guessoum A. (2005) A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach. *Solar Energy*, 79, 469-482.
- Sansigolo A. (1997) Non-Stationary Markov Chains for Modelling Daily Sunshine at Silo Paulo, Brazil. *Theor. Appl. Climatol.* 56, 225-230

**ABSTRACT:** In this work, yearly synthetic series have been generated from daily values of clearness index for 3 locations in Argentina, which are historical monthly average values. For this purpose, a library of 10 Markov transition matrixes was built, each one them linked to an interval of average monthly clearness index values. These matrixes hold information on the transition probabilities of daily radiation values from one class to another, on consecutive days, using a data base measured in 25 stations of the Solarimetric Network between 1978 and 2008. The work has been done using a selection of 1789 months with less than 3 days missing in each month. Synthetic series were generated from one year to three locations not used in the original basis, using as input the historical monthly average value of radiation in each location. The series generated by this procedure are compared with those, for the same locations, obtained by using a library of transition matrixes built with data from the northern hemisphere. Statistical estimators are compared to the series generated by both matrixes libraries founding a comparable performance.

**Key words:** Synthetic Series, Markov transition matrixes, clearness index.