

# Año meteorológico representativo para el recurso solar

Joan Dídac Viana Fons

Diciembre 2015

## Resumen

El objetivo de este documento es obtener una serie anual representativa del recurso solar en el plano horizontal para el emplazamiento seleccionado. Para ello se realizan tres estudios:

- Análisis comparativo entre diferentes fuentes de datos para la variable  $G$ . Se obtiene como resultado la serie de las diferentes componentes de radiación horizontal:  $G_0$ ,  $B_0$ ,  $D_0$  y  $E_0$ .
- Análisis de calidad de las series de radiación seleccionadas. Valoración y corrección, en su caso, de los datos corruptos. Se obtiene el conjunto definitivo de series de radiación utilizar.
- Análisis comparativo entre diferentes fuentes de datos para las variables  $T$  y  $v$  coherentes con la serie de la radiación seleccionada. El resultado de este estudio sumado al anterior componen el denominado *modelo de datos*

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Emplazamiento . . . . .	1
1.2. Datos meteorológicos . . . . .	2
<b>2. Análisis comparativo</b>	<b>2</b>
<b>3. Análisis de calidad</b>	<b>5</b>
3.1. Pruebas de calidad . . . . .	6
3.2. Construcción de la serie resultante . . . . .	6
3.3. Series de temperatura y velocidad del viento . . . . .	9

## 1. Introducción

### 1.1. Emplazamiento

El emplazamiento seleccionado está situado en el área metropolitana de València.

---

Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Latitud(°)	Longitud(°)	msnm( $m$ )	UTC( $h$ )	h( $m$ )	Suelo
39.46	-0.38	50.00	GMT + 1	12.00	Industrial

Cuadro 1: Emplazamiento de estudio

## 1.2. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos necesarios para el análisis se extraen de varias fuentes. En el Cuadro 2 se muestra un resumen de éstas, clasificadas según la fuente, el período de observación, la frecuencia de muestreo, la naturaleza del parámetro y las variables utilizadas:

	Base de datos	Período	Resolución	Naturaleza	Variables
1	IDAE [10]	1983-2005	Mensual	Estadística <sup>1</sup>	$R$
2	AEMET <sup>2</sup>	1980-2010	Diaria	Serie temporal	$P$
3	IWEC [1]	1982-1999	Horaria	Serie año típico <sup>3</sup>	$R$
4	SIAR <sup>4</sup>	2002-2014	30 minutos	Serie temporal	$R, T, v, P$
5	BSC <sup>5</sup>	2002-2014	30 minutos	Serie temporal	$D$
6	SODA <sup>6</sup>	2004-2005	1 minuto	Serie temporal	$R$

$R$ : Radiación,  $T$ : Temperatura,  $H$ : Humedad,  $v$ : Viento,  $P$ : Precipitación,  $D$ : Deposición de polvo.

Cuadro 2: Bases de datos meteorológicas consideradas

## 2. Análisis comparativo

En este apartado se pretenden comparar las cuatro fuentes de radiación especificadas en el Cuadro 2 seleccionando aquella considerada que aproxima mejor al año representativo.

Para ello, se parte de los valores medios mensuales proporcionados por IDAE, considerándolos como los valores medios mensuales del año en cuestión. Se toma entonces, de cada una de las otras fuentes, un parámetro que permita compararse con los valores de IDAE: los promedios diarios mensuales.

Se calculan los promedios mensuales<sup>7</sup> considerando que se tiene, para cada serie, un conjunto de doce mediciones de una variable estocástica.

En base a esta consideración se tiene a disposición los dos tipos de distribuciones necesarias para efectuar la comparación:

- $G_0^{idae}(m)$ : Referencia. Representa la observación o el resultado experimental. El estudio comparativo es relativo a esta distribución.
- $G_0^i(m)$ : 33 modelos. Representan el valor estimado. Se calcula a partir de las series de las otras fuentes
  - $G_0^{soda}(m)$ : Correspondiente a la base de datos SODA para el periodo 2004-2005 con una resolución de 1 minuto. Se denota como SODA-04 y SODA-05, respectivamente.

<sup>7</sup>Los valores nulos se calculan por interpolación.

- $G_0^{iwec}(m)$ : Correspondiente a la serie horaria del año típico para la temperatura proporcionado por ASHRAE.
- $G_0^{siar}(m)$ : Se toman, para todos los años disponibles, las series de 30 minutos de las tres estaciones más cercanas a València: Montcada(M), Picassent(P) i Bètera(B).

Considerando  $O = \{o_1, \dots, o_n\}$  un conjunto de observaciones y sean  $E = \{e_1, \dots, e_n\}$  un conjunto de estimaciones de un modelo que trata de aproximar el comportamiento de la variable observada, se consideran:

$$nmb = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - e_i)}{\sum_{i=1}^n (e_i)} \quad nme = \frac{\sum_{i=1}^n |m_i - e_i|}{\sum_{i=1}^n (e_i)} \quad (1)$$

$$nrmsd = \frac{(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (m_i - e_i)^2)^{\frac{1}{2}}}{\max(E) - \min(E)} \quad nsd = \frac{\sigma(E)}{\sigma(O)}$$

Se pretende, a través de estos estimadores, valorar el grado de similitud entre las diferentes series. En el Cuadro 3 se recogen, además de otros parámetros, el valor de los estadísticos para cada una de las series.

	$\mu$	$\sigma$	$nmb$	$nme$	$nrmse$	$nsd$	$r$	$t$	$d_1$
SODA	4943.00	1941.50	0.0038	0.0331	0.0331	0.9680	0.9948	0.3083	0.9525
SODA-05	4887.44	1934.76	-0.0075	0.0448	0.0511	0.9647	0.9895	0.4332	0.9355
SODA-04	4723.62	1986.74	-0.0407	0.0661	0.0778	0.9906	0.9800	1.7383	0.9063
IWEC	4463.71	1860.05	-0.0935	0.0935	0.0918	0.9274	0.9959	7.0101	0.8631
SIAR-P02	4405.68	1819.85	-0.1053	0.1167	0.1156	0.9074	0.9833	4.5465	0.8248
SIAR-P03	4245.67	1925.10	-0.1378	0.1911	0.2124	0.9599	0.8696	2.3345	0.7318
SIAR-P04	4094.90	1685.37	-0.1684	0.3681	0.3825	0.8403	0.3991	1.4076	0.4517
SIAR-P05	4497.12	1795.41	-0.0867	0.4648	0.4563	0.8952	0.0624	0.5675	0.3086
SIAR-P06	4389.50	1880.05	-0.1086	0.5864	0.5890	0.9374	-0.5025	0.5499	0.1301
SIAR-P07	4376.38	1932.86	-0.1112	0.6606	0.6498	0.9637	-0.7868	0.5097	0.0650
SIAR-P08	4164.58	1734.56	-0.1543	0.6502	0.6471	0.8649	-0.9212	0.7177	0.0249
SIAR-P09	4688.53	2003.42	-0.0479	0.6934	0.6769	0.9989	-0.9083	0.2084	0.0105
SIAR-P10	4558.63	1997.82	-0.0742	0.6093	0.6049	0.9961	-0.5159	0.3633	0.1193
SIAR-P11	4367.20	1643.52	-0.1131	0.4553	0.4733	0.8195	-0.0706	0.7196	0.2904
SIAR-P12	4753.73	1942.38	-0.0346	0.4236	0.4344	0.9685	0.1908	0.2351	0.3850
SIAR-P13	4573.94	1861.01	-0.0711	0.2072	0.2192	0.9279	0.8045	0.9972	0.6902
SIAR-P14	4644.58	1999.72	-0.0568	0.0848	0.0911	0.9971	0.9759	2.2005	0.8800
SIAR-B11	4457.10	1855.71	-0.0818	0.4147	0.4638	1.0070	-0.0309	0.5256	0.3603
SIAR-B12	4794.09	2102.55	-0.0188	0.4418	0.4904	1.0939	0.0056	0.1129	0.3768
SIAR-B13	4648.75	1986.59	-0.0734	0.4924	0.5188	0.9239	-0.0387	0.4195	0.2943
SIAR-B14	4596.36	1980.09	-0.0698	0.4421	0.4970	0.9481	0.0136	0.4165	0.3961
SIAR-M02	4295.63	1796.25	-0.1276	0.1295	0.1292	0.8956	0.9881	6.0492	0.8076
SIAR-M03	4266.07	1929.43	-0.1336	0.1700	0.1830	0.9620	0.9163	2.8203	0.7575
SIAR-M04	4215.42	1784.96	-0.1439	0.3262	0.3272	0.8900	0.5810	1.4061	0.5220
SIAR-M05	4299.09	1849.91	-0.1269	0.3935	0.4002	0.9224	0.3353	0.9726	0.4332
SIAR-M06	4377.14	2010.80	-0.1111	0.4200	0.4198	1.0026	0.3062	0.8010	0.4099
SIAR-M07	4146.49	1877.42	-0.1579	0.5415	0.5417	0.9361	-0.2194	0.8882	0.2341
SIAR-M08	4028.44	1695.44	-0.1819	0.5756	0.5896	0.8454	-0.5747	0.9439	0.1201
SIAR-M09	4394.89	1896.30	-0.1075	0.6421	0.6404	0.9455	-0.7701	0.4995	0.0718
SIAR-M10	4593.29	1871.88	-0.0672	0.6556	0.6669	0.9333	-0.9719	0.2977	0.0205
SIAR-M11	4758.16	1841.66	-0.0337	0.6460	0.6460	0.9183	-0.8906	0.1537	0.0146
SIAR-M12	4798.38	2018.88	-0.0255	0.6417	0.6409	1.0066	-0.7022	0.1174	0.1043
SIAR-M13	4855.13	2040.29	-0.0140	0.5551	0.5334	1.0173	-0.1672	0.0774	0.2024
SIAR-M14	4885.19	2078.03	-0.0079	0.4169	0.4144	1.0361	0.3084	0.0562	0.4164

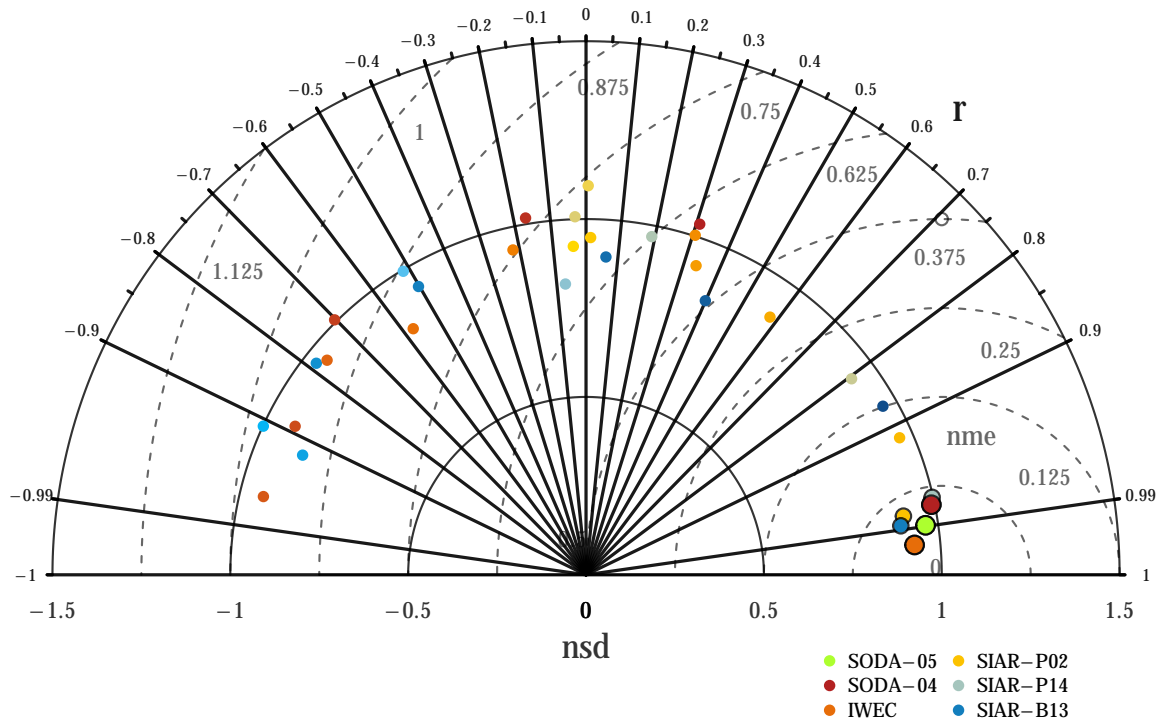
**Nota:** Se utiliza la nomenclatura SIAR-XXX para referirse a la Red SIAR, estación X, año 20YY.

### Cuadro 3: Errores de los distintos datos de radiación

Aquí queda patente que la serie que mejor representa las el año característico es la correspondiente a SODA para el año 2005. Se extrae además que, en caso de utilizar la fuente SIAR, la que mejor se ajusta corresponde al año 2014 de la estación de Picassent.

La Figura 1, por otra parte, trata de sintetizar este resultado mediante un Diagrama de Taylor. En él se representa:

- En la coordenada radial central la desviación típica normalizada  $nsd$ .
- En la coordenada radial lateral el error relativo medio normalizado  $nmb$ .
- En la coordenada azimutal el coeficiente de regresión  $r$ .



**Nota:** La leyenda refleja únicamente las series con  $r \approx 0.99$

Figura 1: Diagrama de Taylor para los distintos datos de radiación

### 3. Análisis de calidad

El objetivo de este apartado es hallar una serie compuesta (por las series mostradas en el apartado anterior) tal que mejores los resultados mostrados y que, además, cumpla con ciertos criterios de calidad.

El procedimiento llevado a cabo es el siguiente:

1. Se parte de las series minutales SODA-05 y SODA-04 sobre las que se aplica una serie de test. Básicamente ésto consiste en comprobar restricciones, marcando como erróneos aquellos datos que no las satisfagan.
2. Posteriormente, se estima una envolvente dentro de la cual deben estar todos los datos. Aquí se manejan los parámetros  $K_t$ ,  $K_n$  y  $K_d$ , los cuales evidencian algunas incongruencias de los datos. A la vista de estas incoherencias, se aplica una corrección de forma que la serie resultante cumpla todos los criterios.

De acuerdo con [], se aplican dos grupos de test:

- Test de límites físicos, de rampas y de persistencia. Se especifican en el Cuadro 4.
- Test envolvente representado en la Figura 3.

### 3.1. Pruebas de calidad

Aquí se recogen el primer grupo de test. Se muestran primero las pruebas y las acciones correctoras correspondientes:

Tipo de prueba	No.	Criterio	Acción correctora
Valores nulos	0	$E, G, B, D \neq error$	Error en el valor en cuestión
Límites físicos	1	$G/E < 1$ si $S_{alt} > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	2	$B/E < 1$	Error en el valor en cuestión
	3	$D/E < 1$ si $S_{alt} > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	4	$G/E \geq 10^{-4} \cdot (S_{alt} - 10^\circ)$ si $S_{alt} > 10^\circ$	Error en el valor en cuestión
	5	$G \geq 0$ si $S_{alt} \leq 10^\circ$	Error en el valor en cuestión
	6	$B \geq 0$	Error en el valor en cuestión
	7	$m(G/E) _{day} \geq 0.03$	Error en todos los valores del día
	8	$B/G \leq 0.95$ si $S_{alt} > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	9	$B/G < 1$ si $S_{alt} \leq 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	10	$D/G \leq 1$	Error en el valor en cuestión
Rampas	11	$ \frac{G(t)}{E(t)} - \frac{G(t-1)}{E(t-1)}  < 0.75$ si $S_{alt}(t) > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	12	$ \frac{B(t)}{E(t)} - \frac{B(t-1)}{E(t-1)}  < 0.65$ si $S_{alt}(t) > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
	13	$ \frac{D(t)}{E(t)} - \frac{D(t-1)}{E(t-1)}  < 0.35$ si $S_{alt}(t) > 2^\circ$	Error en el valor en cuestión
Persistencia	14	$\frac{1}{8} \cdot \mu(G/E) _{day} \leq \sigma(G/E) _{day} \leq 0.35$	Error en todos los valores del día

Cuadro 4: Pruebas del Análisis de Calidad

Se procede ahora a mostrar los errores surgidos durante el test. En el Cuadro 5 se recogen el número de errores totales, los correspondientes a cada mes y el porcentaje de datos que representan.

	Prueba	$n(0)$	$p(0)\%$	$n(4)$	$p(4)\%$	$n(7)$	$p(7)\%$	$n(8)$	$p(8)\%$	$n(15)$	$p(15)\%$
SODA-05	Total	10080	1.92	2	3.8E-4	7	1.92	7	1.92	2	0.55
	Junio	0	0	1	2.31E-3	0	0	0	0	1	3.33
	Agosto	8640	19.35	1	2.24E-3	6	19.35	6	19.35	1	3.26
	Noviembre	1440	3.33	0	0	1	3.33	1	3.33	0	0
SODA-04	Total	47520	9.29	2	1.9E-4	32	8.74	32	8.74	3	0.82
	Enero	44640	100	0	0	31	100	31	100	0	0
	Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.45
	Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.23
	Agosto	0	0	1	2.24E-3	0	0	0	0	1	3.26
	Octubre	4320	9.68	0	0	3	9.68	3	9.68	0	0

Cuadro 5: Resultado del Análisis de Calidad

### 3.2. Construcción de la serie resultante

Antes que nada se analizan las interrelaciones entre errores:

- Los errores en los test 7 y 8 corresponden a los valores nulos (test 0).
- Algunos errores en el test 15 corresponden con los errores del test 4.

Respecto a éstos últimos se comprueba que corresponden a horas de amanecer. Más concretamente, corresponde a un valor de  $B = 10^{-6}$  a las 3.78, 4.98, 5.16 horas. Al anular dichos valores se eliminan los errores en los test 4 y los correspondientes del test 15.

Una vez establecida esta corrección, se construye una primera serie compuesta siguiendo los siguientes criterios:

- Se subestiman, en principio, todos los meses que contengan errores. Por tanto, si para un mes determinado hay una serie con errores y la está libre: esta última pasa directamente a formar parte de la resultante. Casos: Enero, Febrero, Mayo, Octubre, Noviembre y Junio.
- Ante los meses con ambas series libres de errores: pasa a formar parte de la serie resultante aquella cuyo error relativo sea menor. Casos: Marzo, Abril, Julio y Septiembre.
- En los meses con errores en ambas series: se toma el que tiene los errores relacionados con las horas de amanecer o atardecer: Agosto de 2004.

Llegados a este punto se analizan los errores correspondientes a horas de amanecer y atardecer. Para ello, se establece un test de envolvente. Éste permite hacer visibles las incongruencias entre los valores de las distintas componentes de radiación. Para llevarlo a cabo se sigue el siguiente procedimiento:

- Se divide el conjunto de valores minutales  $K_t = \frac{G_0}{E_0}$  en 100 intervalos equidistantes.
- Se calcula para cada intervalo  $i$ , la media  $\mu(K_{de})|_i$  y la desviación típica  $\sigma(K_{de}^{min})|_i$  con  $K_{de} = \frac{D_0}{E_0}$ <sup>8</sup>.
- Se toma la envolvente formada por el conjunto de puntos  $env = \{\mu(K_{de})|_i \pm 2 \cdot \sigma(K_{de})|_i\}$

En las Figura 2a se representan los mapa de densidad de la potencia instantánea para las Radiación Global y para la componente Difusa. Quedan coloreados los puntos que quedan fuera de la envolvente.

---

<sup>8</sup> [] construye la envolvente con  $K_n = \frac{B_0}{E_0}$ , sin embargo, al sopesar ambos parámetros, la decisión se declina hacia  $K_{de}$  ya que refleja más claramente los efectos que se pretenden estudiar: incongruencias en horas de amanecer y atardecer.

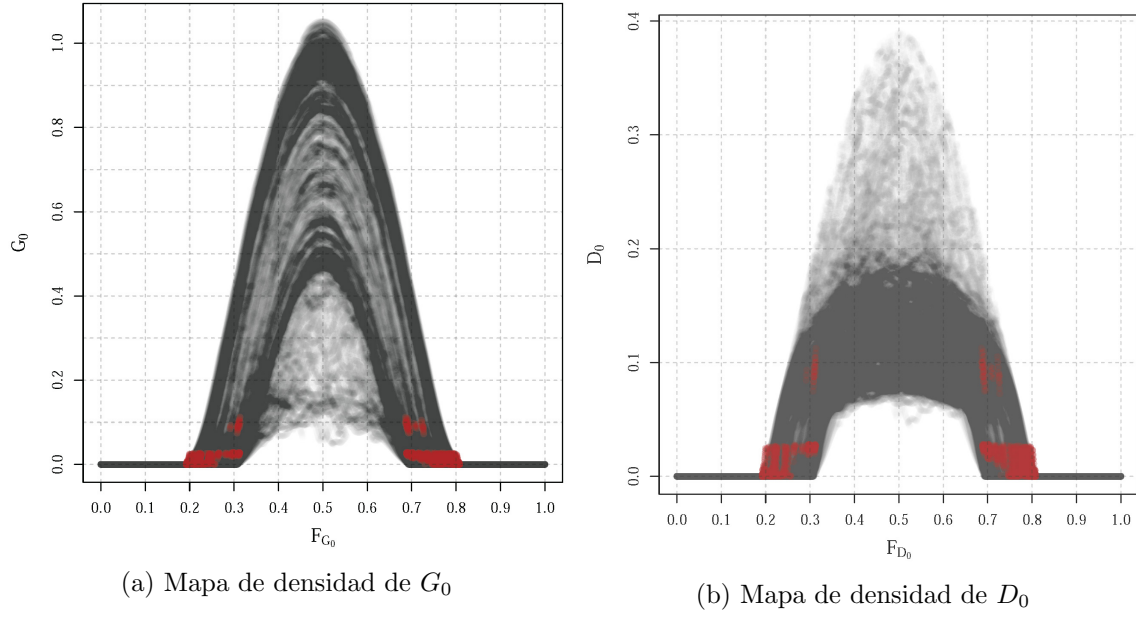


Figura 2: Mapas de densidad para la potencia instantánea. En rojo los puntos situados fuera *env*

Aquí se puede apreciar que todos los puntos corruptos corresponden a horas de amanecer y atardecer y, por lo tanto, no supondrán grandes cambios en los valores de radiación. En el Cuadro ?? se especifican una serie de estadísticos que caracterizan este conjunto de puntos. Se muestran, además, la cantidad de puntos  $n_p$ , su proporción respecto al total  $F_p$ , la energía que se le tenía asignada  $G_{e0}^A$ , la nueva  $G_{eF}^A$  y la diferencia  $\delta(G_e^A)$ .

$n_p$	$F_p(\%)$	$G_{e0}^A$	$G_{eF}^A$	$\delta(G_e^A)$	$\mu$	$\sigma$	mín	P25	P50	P75	máx
1930	0.37	0.11	0.11	2.2E-5	0.0068	0.0084	6E-6	0.0012	0.0052	0.0087	0.0428

Cuadro 6: Evaluación de la corrección en el modelo de datos. Magnitudes energéticas en  $\frac{kWh}{m^2}$

Por otra parte, en las Figuras ?? y ??, se puede apreciar que todos los puntos que sobresalen, lo hacen porque su valor de  $K_{de}$  es mayor que el máximo de la envolvente. Partiendo de esta observación, se corrigen los puntos corruptos, asignándoles el valor límite de la envolvente  $K_{de|corr} = max(env)$ .



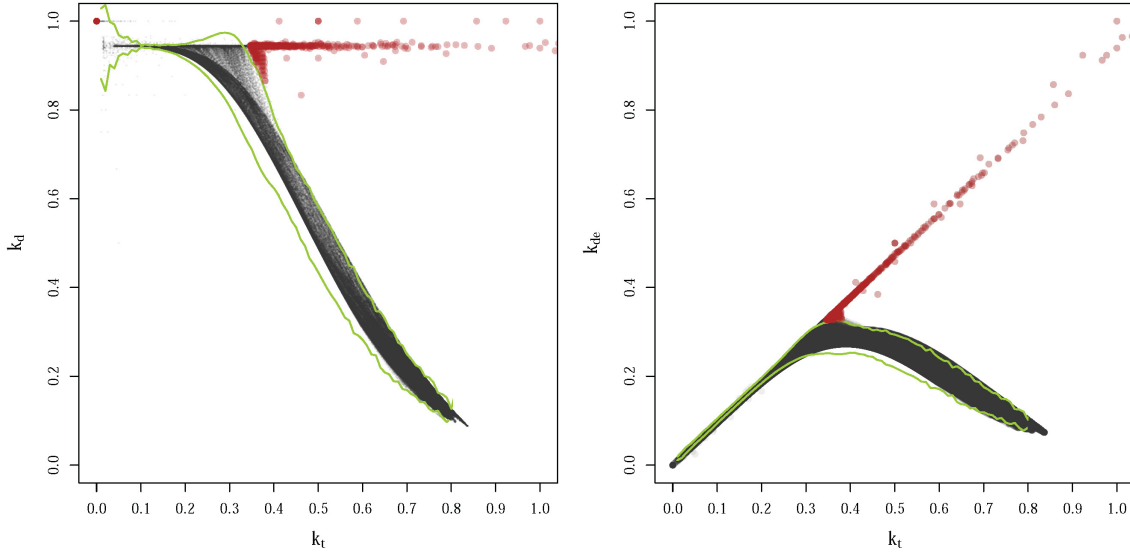


Figura 3: Test de envolvente para  $K_{de}, K_d = f(K_t)$

Llegados a este punto, se vuelven a realizar todos los test para la serie resultante resultando válidos todos y cada uno de los 525600 puntos. En el Cuadro 7 se resume como se constituye la serie de radiación resultante:

Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
SODA	05	05	05	04	05	05	04	04	05	05	04	05

Cuadro 7: Series constituyentes de la serie de radiación resultante

Ante el resultado se vuelven a calcular los estimadores del aparatado anterior. En el Cuadro 8 se puede observar cómo han mejorado el ajuste respecto al valor representativo.

	$\mu$	$\sigma$	$nmb$	$nme$	$nrmse$	$nsd$	$r$	$t$	$d_1$
SODA	4943.00	1941.50	0.0038	0.0331	0.0331	0.9680	0.9948	0.3083	0.9525
SODA-05	4887.44	1934.76	-0.0075	0.0448	0.0511	0.9647	0.9895	0.4332	0.9355
SODA-04	4723.62	1986.74	-0.0407	0.0661	0.0778	0.9906	0.9800	1.7383	0.9063

Cuadro 8: Errores de los distintos datos de radiación

### 3.3. Series de temperatura y velocidad del viento

El objetivo de este apartado es seleccionar las series de temperatura y viento que, junto con la serie de radiación del apartado anterior, conformen el modelo de datos.

Como la base de datos SODA sólo contiene datos de radiación, se necesita de otra base de datos para obtener los otros parámetros meteorológicos. Éstos, además, deben ser

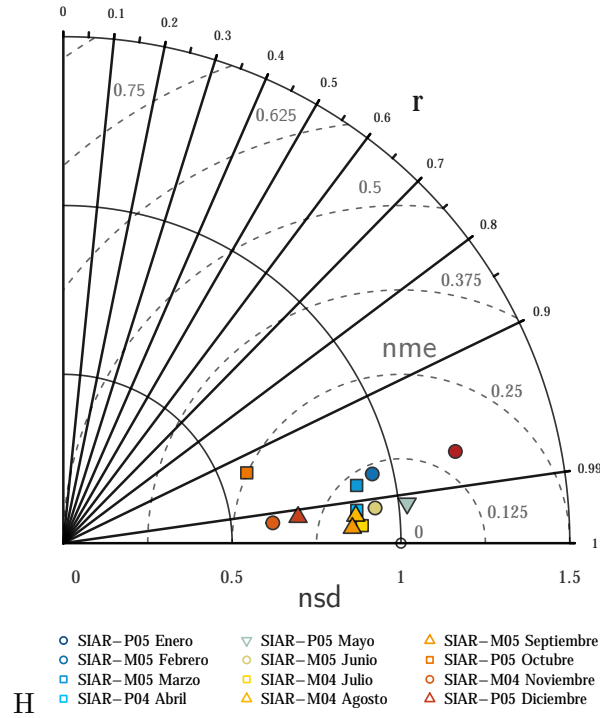


Figura 4: Diagrama de Taylor para las series seleccionadas de  $T$  y  $v$

coherentes con los datos de radiación.

En base a esta ultima consideración se establece como criterio de coherencia el que los datos de radiación, entre las bases de datos a relacionar, sean lo más similares posible.

Como punto de partida se toman las series de temperatura, viento y radiación de las fuentes que contengan datos para los años correspondientes a la serie de radiación: 2004 y 2005. Las únicas series del Cuadro ?? que cumplen con esta condición son SIAR-M04, SIAR-P04, SIAR-M05 y SIAR-P05.

Partiendo de aquí se establece una análisis similar al de los apartados anteriores: se toma, mes a mes, aquel que se ajuste mejor a la serie de radiación resultante.

El Cuadro 9 muestra las serie de temperatura y velocidad del viento que forman parte del modelo de datos.

Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
SIAR	P05	M05	M05	P04	P05	M05	M04	M04	M05	P05	M04	P05

Cuadro 9: Series constituyentes de la serie de radiación resultante

Para acabar se muestran, en el Cuadro 10 y en la Figura 4, los resultados estadísticos de las series seleccionadas en este apartado.

Mes	Serie	$\mu$	$\sigma$	$nmb$	$nme$	$nrmse$	$nsd$	$r$	$t$	$d_1$
Enero	SIAR-P05	125.28	178.43	0.0132	0.1929	0.0801	0.9377	0.9758	0.1891	0.9235
Febrero	SIAR-M05	115.97	172.25	-0.1462	0.1813	0.0870	0.8855	0.9812	2.3215	0.9233
Marzo	SIAR-M05	169.31	226.31	-0.1376	0.1548	0.0723	0.8746	0.9938	3.1383	0.9292
Abril	SIAR-P04	269.33	311.03	0.0658	0.1006	0.0512	1.0252	0.9934	2.2530	0.9534
Mayo	SIAR-P05	286.64	320.50	-0.0378	0.0945	0.0509	0.9292	0.9937	1.2372	0.9527
Junio	SIAR-M05	285.65	319.20	-0.1059	0.1118	0.0621	0.8869	0.9983	3.6581	0.9419
Julio	SIAR-M04	271.12	308.77	-0.1165	0.1355	0.0696	0.8700	0.9957	3.1605	0.9305
Agosto	SIAR-M04	244.90	293.21	-0.1392	0.1455	0.0734	0.8572	0.9986	3.7622	0.9276
Septiembre	SIAR-M05	186.01	173.43	-0.1908	0.4836	0.1949	0.5818	0.9337	1.4363	0.7344
Octubre	SIAR-P05	93.43	138.37	-0.4134	0.4134	0.1793	0.6232	0.9953	3.7795	0.8034
Noviembre	SIAR-M04	89.12	124.20	-0.2352	0.3374	0.1262	0.6995	0.9939	2.4044	0.8513
Diciembre	SIAR-P05	121.10	172.87	0.3144	0.3144	0.1357	1.1925	0.9737	3.0994	0.8889

Cuadro 10: Errores de las series seleccionadas para  $T$  y  $v$ .

## Referencias

- [1] ASHRAE. International Weather for Energy Calculations (IWECC Weather Files) User's Manual and CD-ROM, 2001.
- [2] Chris Deline, Aron Dobos, Steven Janzou, Jenya Meydbray, and Matt Donovan. A simplified model of uniform shading in large photovoltaic arrays. *Solar Energy*, 96:274–282, 2013.
- [3] John a. Duffie and William a. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition. 2013.
- [4] Hassan Fathabadi. Lambert W function-based technique for tracking the maximum power point of PV modules connected in various configurations. *Renewable Energy*, 74:214–226, 2015.
- [5] P Gilman. SAM Photovoltaic Model Technical Reference. (May), 2015.
- [6] D L King, J a Kratochvil, and W E Boyson. Measuring solar spectral and angle-of-incidence effects on photovoltaic modules and solar irradiance sensors. *Conference Record of the Twenty Sixth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1997*, (September):1113–1116, 1997.
- [7] N Martin and J M Ruiz. Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model. 70:25–38, 2001.
- [8] Author Walter R Mebane. Package ‘rgenoud’, 2015.
- [9] G.a. Rampinelli, a. Krenzinger, and F. Chenlo Romero. Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34:578–587, 2014.

- [10] Jm Sancho, J Riesco, and C Jiménez. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. *Ministerio de Agricultura, . . .*, page 162, 2012.
- [11] J. S. Sekhon and W. R. Mebane. Genetic Optimization Using Derivatives. *Political Analysis*, 7(1):187–210, 1998.
- [12] José Zorrilla-Casanova, Michel Piliouguine, Jesús Carretero, Pedro Bernaola-Galván, Pedro Carpena, Llanos Mora-López, and Mariano Sidrach-de Cardona. Losses produced by soiling in the incoming radiation to photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, (FEBRUARY):n/a–n/a, 2012.