

7 Irradiación solar

La premisa básica en la determinación de la irradiación solar mediante un modelo estadístico es el planteamiento de una relación lineal entre el índice de nubosidad y el factor de transmisión atmosférica (ecuación 3.4), esta expresión que está definida para un tiempo instantáneo “t” en la práctica se plantea para datos acumulados horarios y diarios (ver apartado 7.1), y para valores de índice de nubosidad determinados para dos escalas de tiempo distintas; mensual y anual (ver apartado 7.2).

7.1 Determinación del factor de transmisión atmosférica horario y diario

El factor de transmisión atmosférica es determinado mediante la ecuación 3.1, que consiste en la división de la irradiación solar superficial por la irradiación solar extraterrestre, registrada en el límite superior de la atmósfera. En las estaciones de medición del INM la irradiación solar superficial es registrada en períodos acumulados de una hora, de modo que la ecuación 3.1 sólo podrá plantearse a lo menos en términos horarios, para ello se dividirá la irradiación solar horaria por la irradiación solar extraterrestre horaria correspondiente (ecuación 10.16) obteniéndose el factor de transmisión atmosférica horario.

Adicionalmente es posible definir el factor de transmisión atmosférica diario, mediante la división de la irradiación solar superficial acumulada diaria por la irradiación solar extraterrestre acumulada diaria (ecuación 10.17).

7.2 Determinación del índice de nubosidad en base mensual y en base anual

El índice de nubosidad es obtenido mediante aplicación de la ecuación 3.3, que consiste en una normalización (entre 0 y 1) del valor de nubosidad presente en un momento particular dentro de un período dado, su determinación está sujeta a la obtención de las imágenes de albedo máximo y mínimo asociadas a ese período dado. Este período se estableció de dos formas, primeramente en base mensual siguiendo la metodología descrita por Flores (2002) y en segundo lugar en base anual

siguiendo la metodología descrita por Diabaté (1989), de esta forma en la determinación del índice de nubosidad en base mensual se tienen 12 pares de imágenes de albedo máximos y mínimos, en cambio en base anual sólo se tiene 2 pares.

Esto hay que tenerlo en cuenta al momento de planear la regresión ya que en el caso en base mensual la regresión producirá unos coeficientes mensuales válidos exclusivamente para el mes considerado, en cambio en base anual los coeficientes serán anuales y podrán ser utilizados indistintamente del mes de que se trate.

7.3 Determinación de los coeficientes del modelo

Los coeficientes a y b se determinan para cada estación de medición definiendo una regresión lineal (ecuación 3.4) entre el factor de transmisión atmosférica calculado a partir de los datos de irradiación solar en superficie (de la estación de medición) y el índice de nubosidad determinado a partir de las imágenes de albedo.

Se plantearán 4 situaciones distintas dependiendo si se utiliza el factor de transmisión atmosférica horario o diario y si se utiliza el índice de nubosidad en base mensual o en base anual. Así serán determinados los coeficientes de calibración del modelo horarios (para horas específicas) y diarios tanto en base mensual como anual.

En forma práctica la metodología de cálculo se plantean de la siguiente forma: en primer lugar se determinan las imágenes de índice de nubosidad, asociadas a cada imagen de albedo, tanto en base mensual como anual, a continuación se extraen de cada una de las imágenes los valores puntuales de índice de nubosidad asociados a cada una de las estaciones de calibración. Dicho de otra manera, para cada estación de calibración se tendrá una colección de valores de índice de nubosidad asociados cada uno de ellos a la hora y día de la adquisición de la imagen original del satélite.

Posteriormente a cada valor de índice de nubosidad se asocian el factor de transmisión atmosférica horario y el factor de transmisión atmosférica diario correspondiente. El factor de transmisión atmosférica horario se determina a partir de los datos específicos de cada estación de medición, del día y de la hora solar correspondientes (ver apartado 10.1.4). El factor de transmisión atmosférica diario se determina de la misma forma pero sólo tomando en cuenta el día correspondiente.

El planteamiento de la regresión lineal para la determinación de los coeficientes horarios se realiza de la siguiente forma, se fija una hora solar específica y se extraen todos los pares de valores de índice de nubosidad y factor de transmisión atmosférica horario que hayan sucedido entre la hora especificada más menos 30 minutos. En el

caso de la determinación de los coeficientes diarios se supone que las condiciones de nubosidad se mantienen durante todo el día, luego la regresión lineal se plantea entre todos los índices de nubosidad (independientemente de la hora solar asociada) y los valores del factor de transmisión atmosférica diario.

Adicionalmente en la determinación de los coeficientes horarios y diarios se utilizó tanto el índice de nubosidad calculado en base mensual como en base anual, la principal diferencia fue que en el caso mensual el planteamiento debe realizarse para cada mes, en tal situación se obtendrán 12 pares de coeficientes mensuales (ver Figuras 7.1, 7.3 y 7.5). En el caso anual el planteamiento se realizará para todo el año independientemente del mes, así se obtendrá un par de coeficientes por año (ver Figura 7.2, 7.4 y 7.6).

A continuación y a modo de ejemplo se muestran (Figuras 7.1 a la 7.6) las gráficas del factor de transmisión atmosférica vs. el índice de nubosidad de la estación de “San Sebastián” para el año de 1998. En la Figura 7.1 se representan los datos horarios de las 14 horas en base mensual y en la Figura 7.2 en base anual (año completo), luego en las Figuras 7.3 y 7.4 se repite la serie para los datos horarios de las 15 horas y en las Figuras 7.5 y 7.6 para los datos diarios. La ecuación de regresión anual también se incluye en cada gráfica, la cual muestra los coeficientes de calibración del modelo. En las Tablas 7.1 a la 7.3 se muestran los coeficientes de calibración mensuales (determinados en base mensuales) y anuales (determinados en base anual) obtenidos por el modelo, conjuntamente con el coeficiente de determinación y el número de puntos (*np*) utilizados en cada regresión para la estación de calibración de “San Sebastián” para el año 1998. Cabe mencionar que el valor anual no ha sido calculado como el promedio de los valores mensuales, sino que ha sido determinado independientemente.

En el Anexo E, se muestran las Tablas 14.1 a la 14.111, donde se recogen los coeficientes mensuales y anuales del modelo para datos diarios y horarios para cada una de las estaciones de calibración desde el año 1998 al 2002.

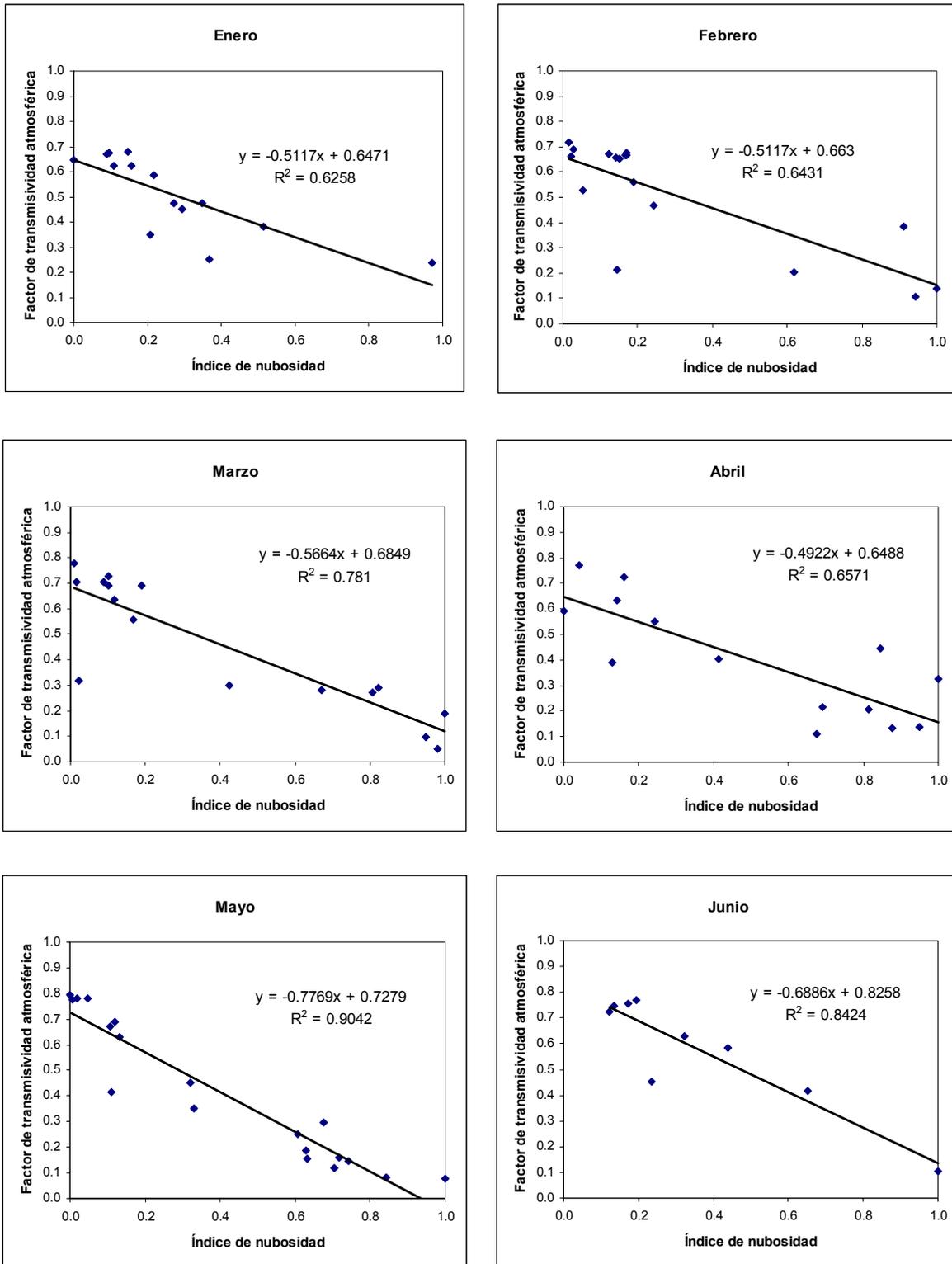


Figura 7.1a: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 14 horas en base mensual de enero a junio de 1998

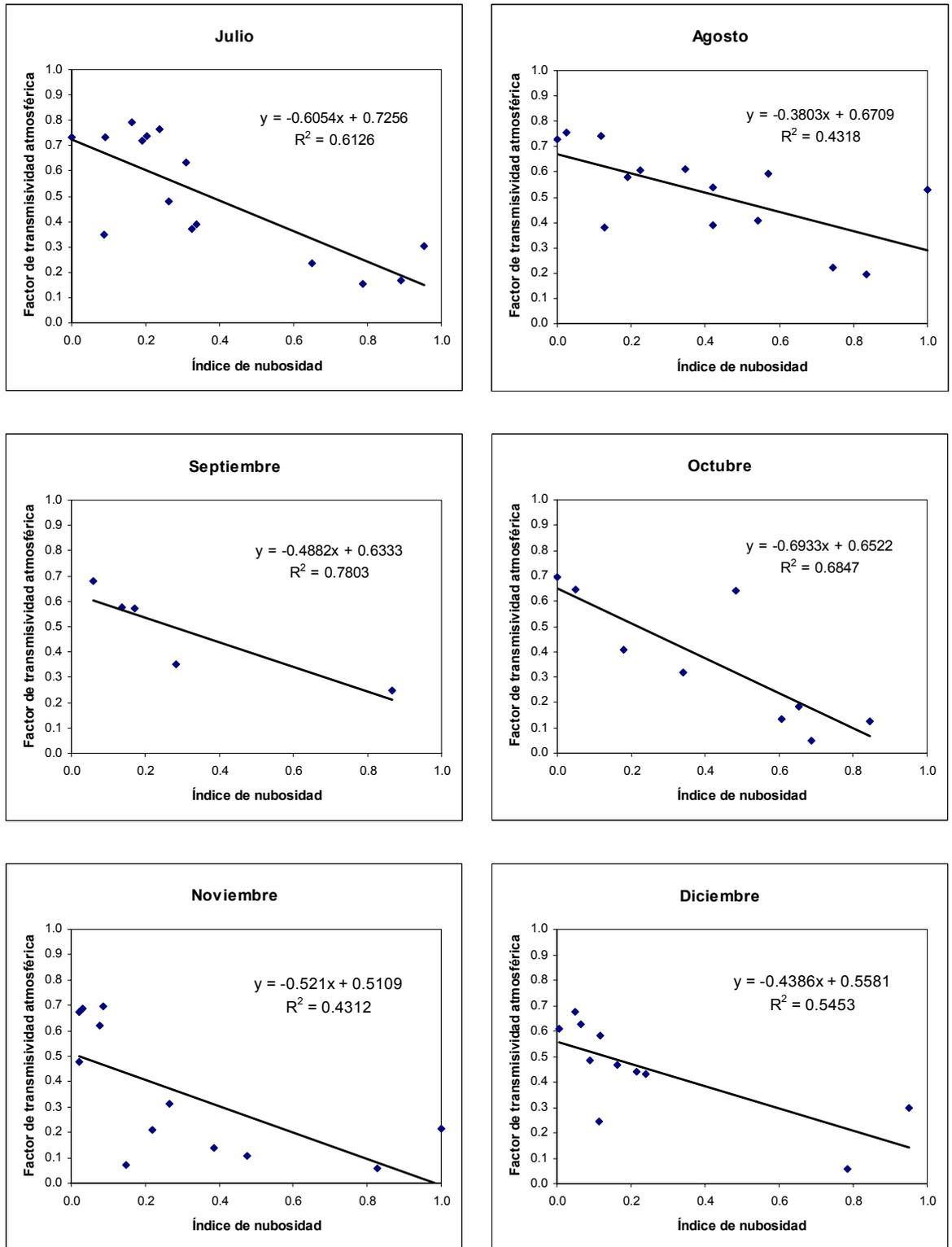


Figura 7.1: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 14 horas en base mensual de julio a diciembre de 1998

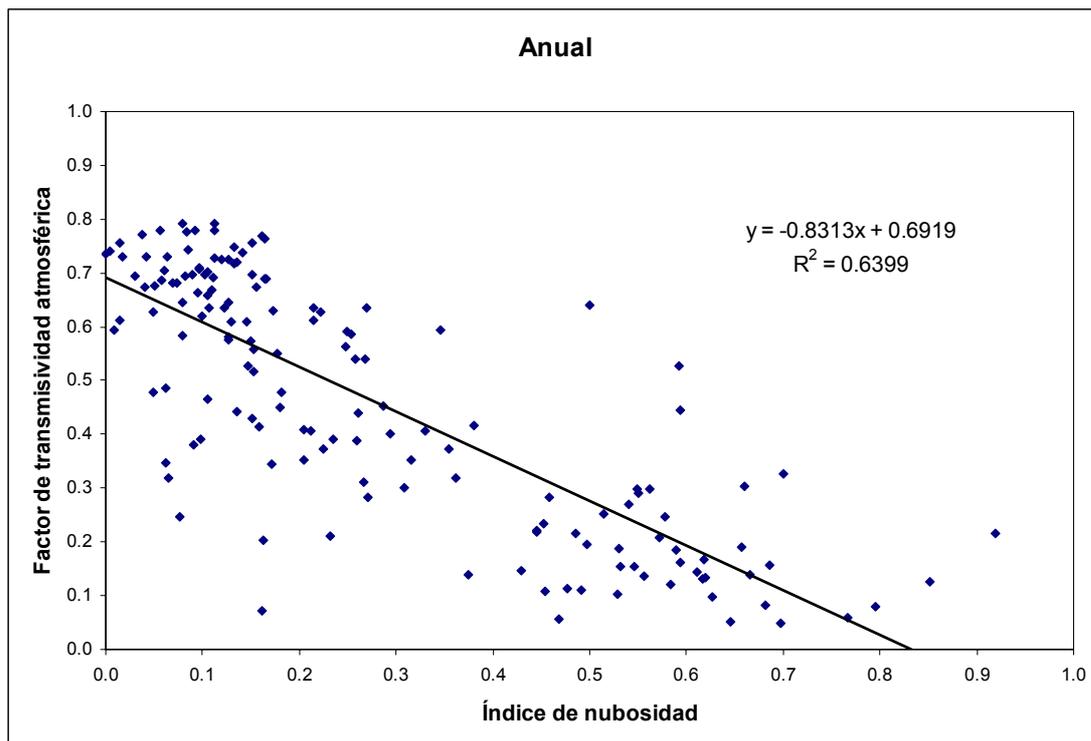


Figura 7.2: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 14 horas en base anual de 1998

Tabla 7.1: Coeficientes de calibración del modelo para la irradiación solar horarios de las 14 horas de la estación de San Sebastián para el año 1998

Base mensual	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²	<i>np</i> (número de puntos)
Enero	-0.5334	0.6196	0.39	14
Febrero	-0.7658	0.7715	0.87	17
Marzo	-0.5664	0.6849	0.78	16
Abril	-0.4922	0.6488	0.66	14
Mayo	-0.7769	0.7279	0.90	19
Junio	-0.6886	0.8258	0.84	9
Julio	-0.6054	0.7256	0.61	15
Agosto	-0.3803	0.6709	0.43	14
Septiembre	-0.4882	0.6333	0.78	5
Octubre	-0.6933	0.6522	0.68	9
Noviembre	-0.5210	0.5109	0.43	12
Diciembre	-0.4386	0.5581	0.55	11
Base anual	-0.8313	0.6919	0.64	155

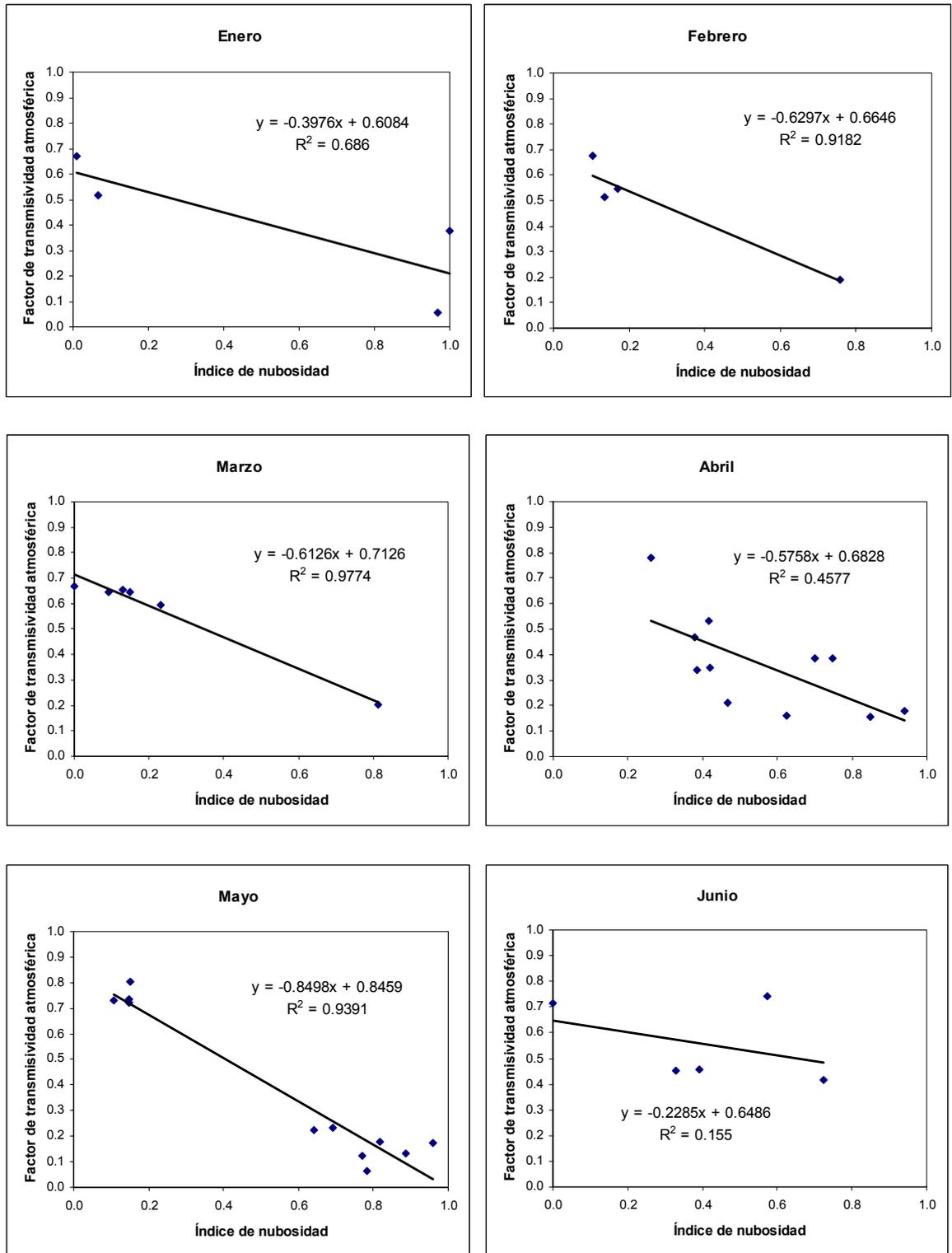


Figura 7.3a: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 15 horas en base mensual de enero a junio de 1998

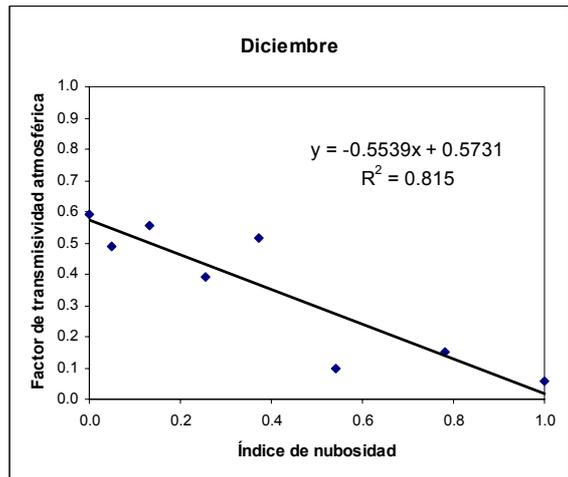
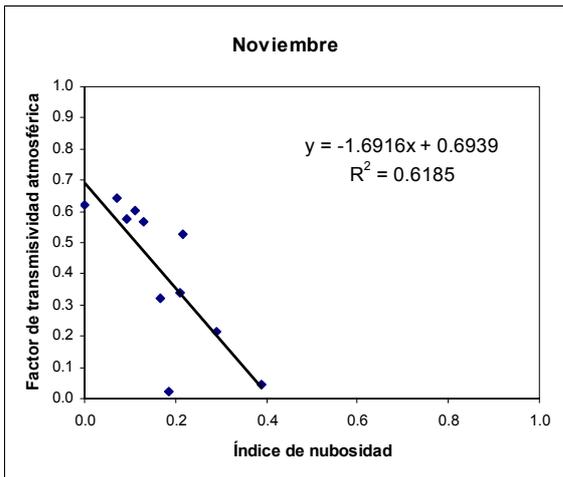
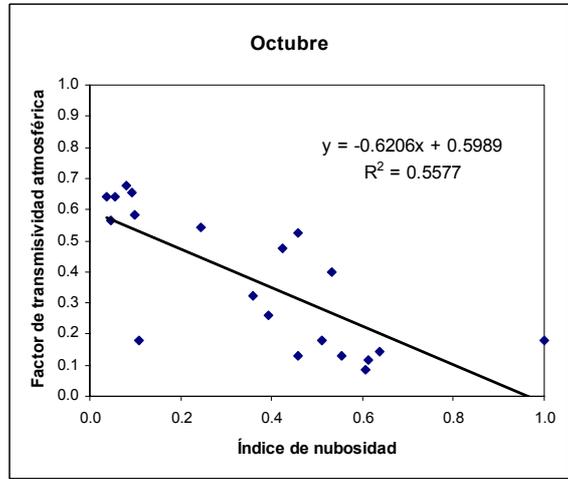
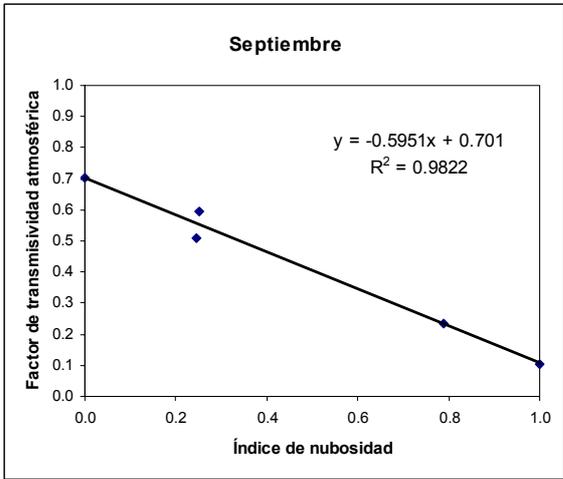
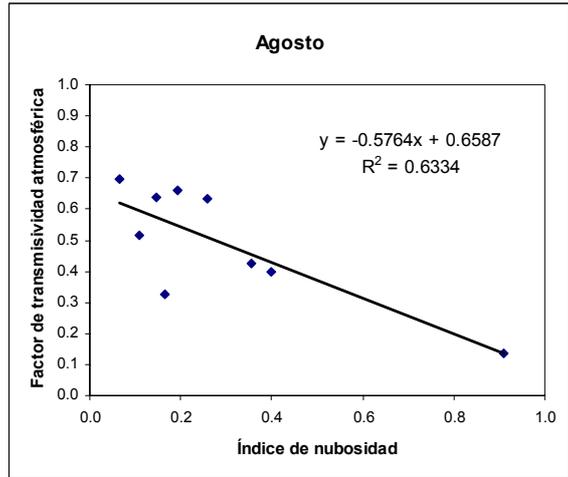
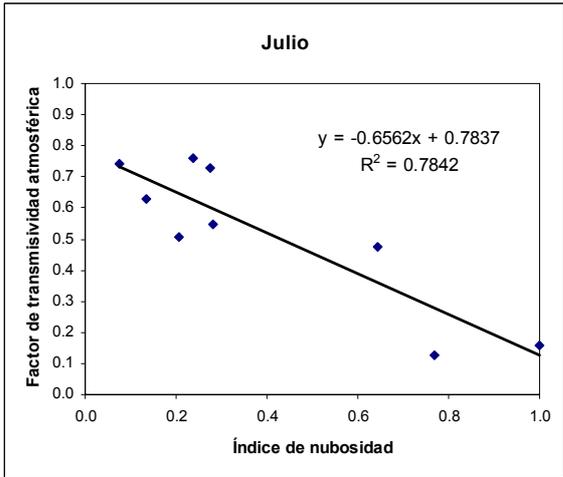


Figura 7.3b: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 15 horas en base mensual de julio a diciembre de 1998

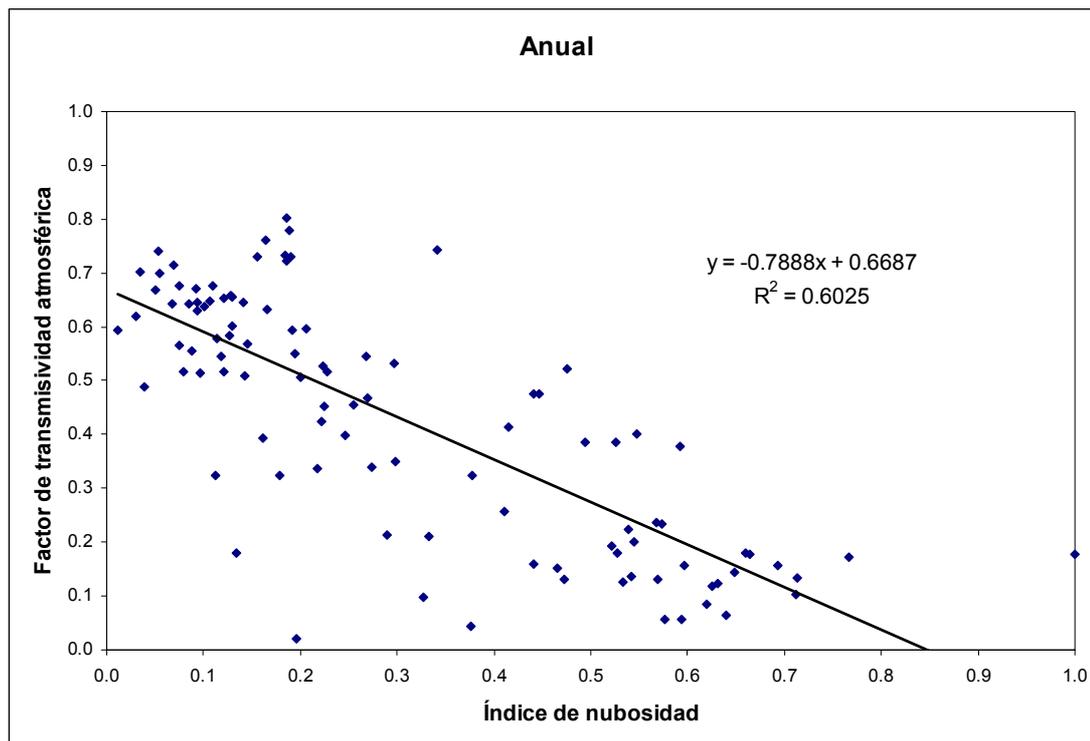


Figura 7.4: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos horarios de las 15 horas en base anual de 1998

Tabla 7.2: Coeficientes de calibración del modelo para la irradiación solar horaria de las 15 horas de la estación de San Sebastián para el año 1998

Base mensual	a	b	r^2	np
Enero	-0.3976	0.6084	0.69	4
Febrero	-0.6297	0.6646	0.92	4
Marzo	-0.6126	0.7126	0.98	6
Abril	-0.5758	0.6828	0.46	11
Mayo	-0.8498	0.8459	0.94	11
Junio	-0.2285	0.6486	0.15	5
Julio	-0.6562	0.7837	0.78	9
Agosto	-0.5764	0.6587	0.63	9
Septiembre	-0.5951	0.7010	0.98	5
Octubre	-0.6206	0.5989	0.56	20
Noviembre	-1.6916	0.6939	0.62	11
Diciembre	-0.5539	0.5731	0.81	8
Base anual	-0.7888	0.6687	0.60	103

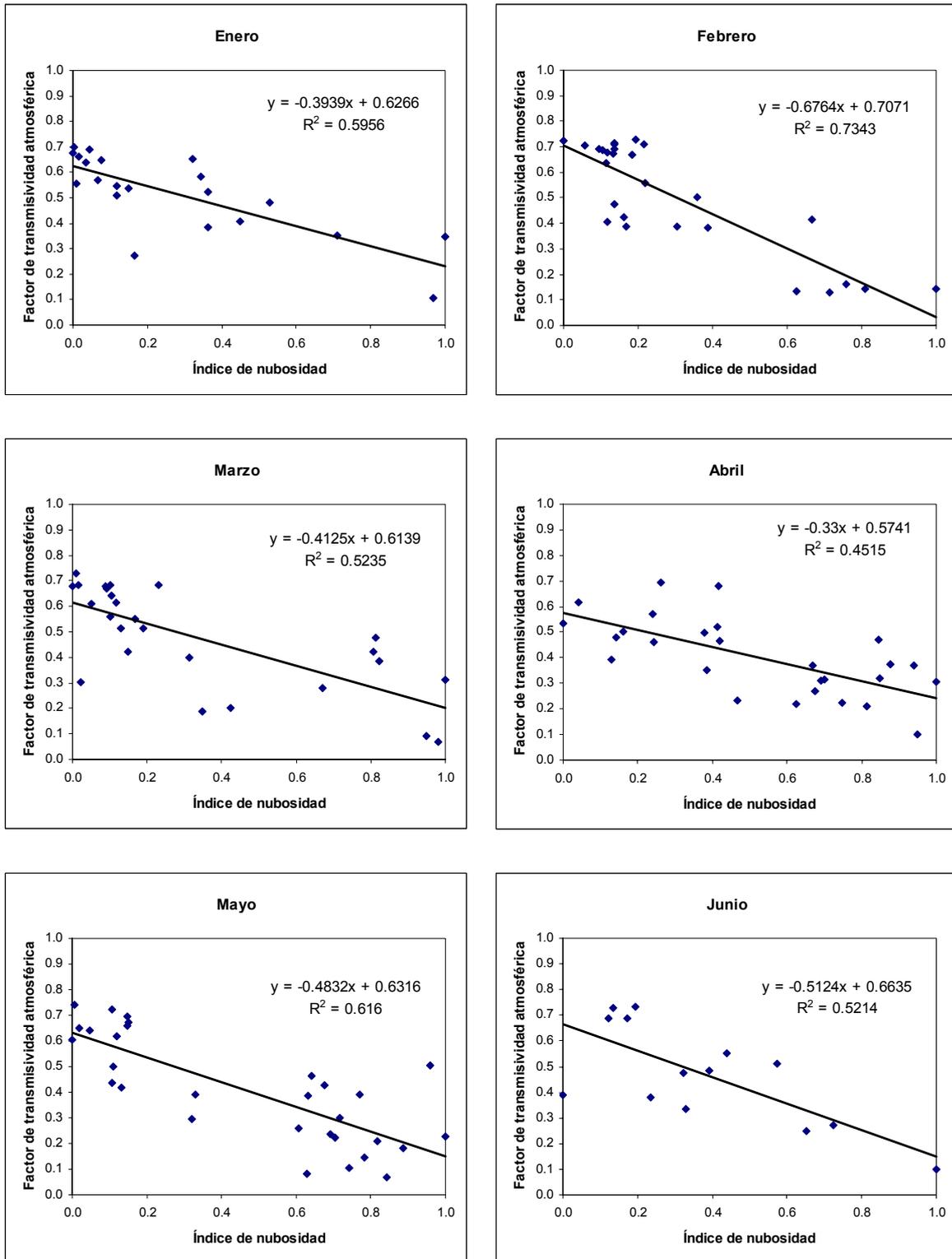


Figura 7.5a: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos diarios en base mensual de enero a junio de 1998

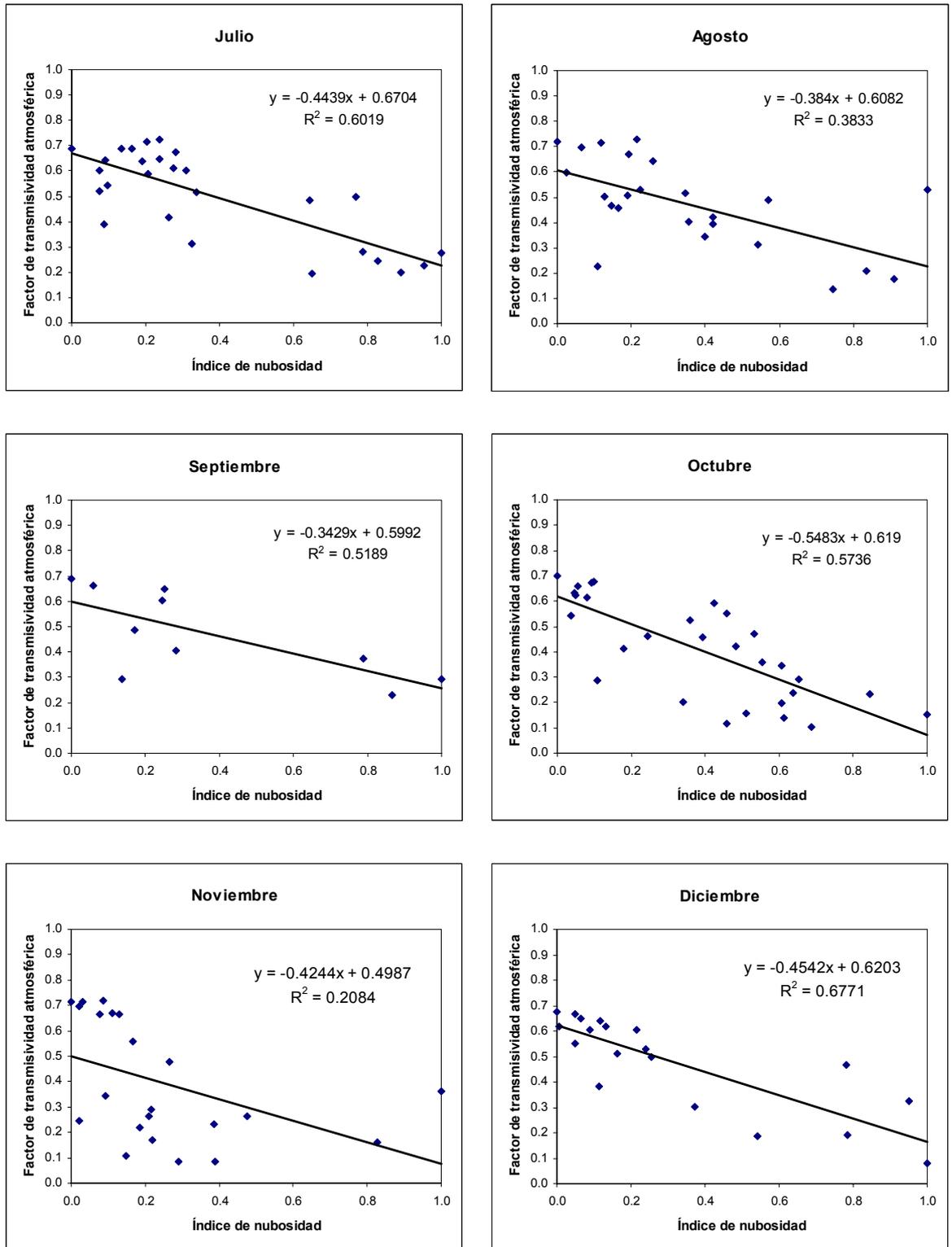


Figura 7.5b: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos diarios en base mensual de julio a diciembre de 1998

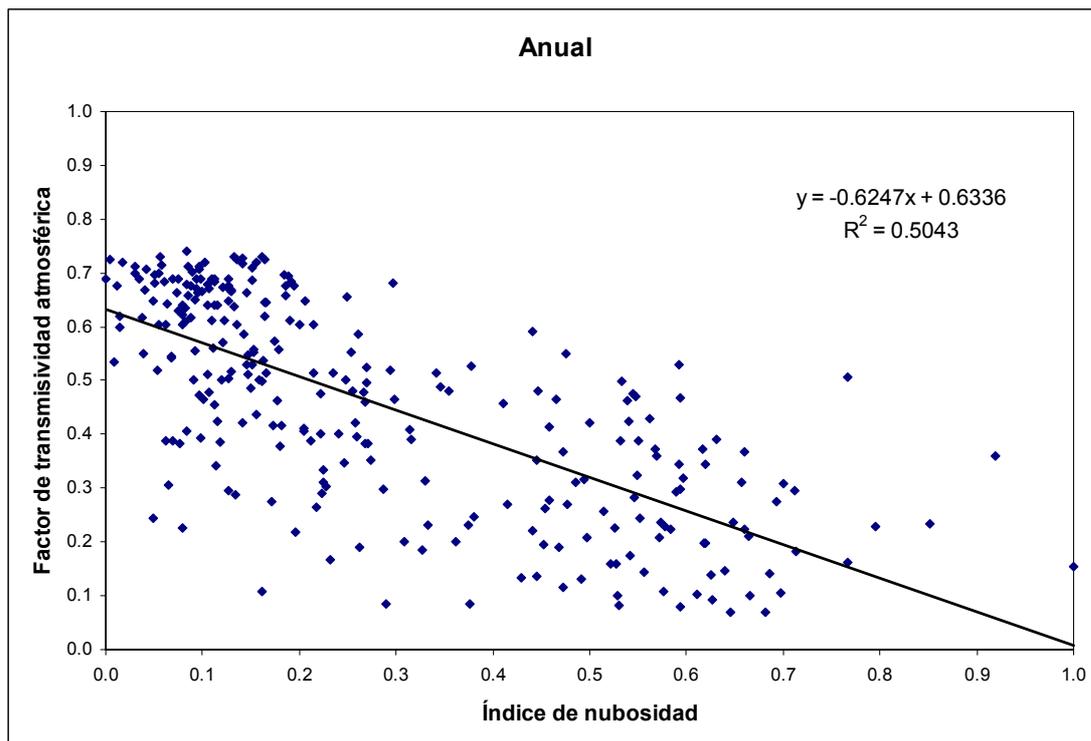


Figura 7.6: Regresión lineal entre k y n para la estación de San Sebastián para datos diarios en base anual de 1998

Tabla 7.3: Coeficientes de calibración del modelo para la irradiación solar diaria de la estación de San Sebastián para el año 1998

Base mensual	a	b	r^2	np
Enero	-0.3939	0.6266	0.60	21
Febrero	-0.6764	0.7071	0.73	27
Marzo	-0.4125	0.6139	0.52	26
Abril	-0.3300	0.5741	0.45	27
Mayo	-0.4832	0.6316	0.62	30
Junio	-0.5124	0.6635	0.52	14
Julio	-0.4439	0.6704	0.60	27
Agosto	-0.3840	0.6082	0.38	24
Septiembre	-0.3429	0.5992	0.52	10
Octubre	-0.5483	0.6190	0.57	29
Noviembre	-0.4244	0.4987	0.21	22
Diciembre	-0.4542	0.6203	0.68	19
Base anual	-0.6247	0.6336	0.50	276

En las Tablas 7.4 y 7.5 se muestran los valores máximos, mínimos y medios de los coeficientes a , b y r^2 de la regresión lineal, obtenidos tanto para los datos horarios como para los datos diarios, para todas las estaciones de calibración y todos los años considerados. En cada tabla se muestran por separado los datos calculados en base mensual y en base anual.

Tabla 7.4: Estadística de los coeficiente de regresión para datos horarios

Base	a			b			r^2		
	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio
Mensual	-1.69	-0.07	-0.60	0.38	0.80	0.72	0.50	1.00	0.75
Anual	-1.54	-0.56	-0.82	0.59	0.79	0.73	0.45	0.93	0.60

Tabla 7.5: Estadística de los coeficiente de regresión para datos diarios

Base	a			b			r^2		
	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio	Mínimo	Máximo	Medio
Mensual	-0.77	-0.05	-0.46	0.38	0.79	0.66	0.50	0.99	0.65
Anual	-0.83	-0.46	-0.58	0.59	0.73	0.67	0.45	0.68	0.50

Se aprecia que en ambos casos el coeficiente de determinación r^2 medio es mayor en los datos calculados en base mensual que los calculados en base anual, 74% vs. 63% en el caso de los datos horarios y 64% vs. 51% en el caso de los datos diarios. Además se observa que para los datos determinados con la misma base, mensual o anual, el coeficiente de determinación es mayor en los datos horarios que en los datos diarios.

En el caso del coeficiente b , se observa que los valores medios cercanos a 0.7 son inferiores al valor de transmisividad atmosférica utilizado para la obtención de la curva de irradiación solar atenuada, usada como referencia en el modelo de cielo despejado para el filtrado de los datos de los piranómetros.

En relación al coeficiente a , se observa una mayor variación que en el coeficiente b , este hecho indica claramente que su comportamiento esta altamente influido por las condiciones de nubosidad locales presentes en las distintas ubicaciones geográficas de la zona estudio.

Adicionalmente, con el fin de obtener una valoración general, se han agrupado por año los coeficientes de calibración calculados en base anual de todas las estaciones

de medición correspondientes. En las Tablas 14.23, 14.45, 14.68, 14.91 y 14.111 se muestran dichos datos para cada uno de los años considerados, desde 1998 hasta el 2002 respectivamente. Adicionalmente se determina la media de los distintos coeficientes, las que vienen a representar el valor medio anual de los coeficientes, propios del año y de la zona de estudio.

En la Tabla 7.6, 7.7a y 7.7b se presentan a modo de resumen los coeficientes de calibración medios anuales para cada año estudiado. Además se presenta para cada coeficiente el valor medio del período.

Tabla 7.6: Coeficientes de calibración medios anuales para datos diarios

Datos diarios				
año	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>np</i> *
1998	-0.5664	0.6717	0.48	301
1999	-0.5273	0.6756	0.47	327
2000	-0.5461	0.6706	0.45	275
2001	-0.6365	0.6696	0.51	207
2002	-0.6121	0.6755	0.54	313
Media del período	-0.5777	0.6726	0.49	285

**np* = número de puntos de la regresión

Tabla 7.7a: Coeficientes de calibración medios anuales para datos horarios (13, 14, 15 y 16 horas)

año	Datos horarios de las 13 horas				Datos horarios de las 14 horas			
	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>np</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>np</i>
1998	-	-	-	-	-0.7539	0.7308	0.60	156
1999	-	-	-	-	-0.7877	0.7466	0.66	93
2000	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-1.0533	0.7378	0.66	71	-1.0450	0.7346	0.60	84
2002	-0.7863	0.7466	0.65	150	-0.8256	0.7724	0.62	157
Media del período	-0.9198	0.7422	0.65	110	-0.8530	0.7461	0.62	123

Se aprecia la misma tendencia que los encontrados en las Tablas 7.4 y 7.5, principalmente el coeficiente *b* cercano a 0.7 y una mejor correlación para los datos horarios que para los datos diarios.

Tabla 7.7b: Coeficientes de calibración medios anuales para datos horarios (13, 14, 15 y 16 horas) (Continuación)

año	Datos horarios de las 15 horas				Datos horarios de las 16 horas			
	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>np</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>np</i>
1998	-0.6974	0.7127	0.51	114	-	-	-	-
1999	-0.7363	0.7228	0.55	188	-	-	-	-
2000	-0.7324	0.6961	0.59	114	-0.7318	0.6923	0.55	126
2001	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-
Media del período	-0.7220	0.7105	0.55	139	-0.7318	0.6923	0.55	126

7.4 Determinación de la irradiación solar global a partir de datos de satélites

Una vez que los coeficientes son conocidos para cada una de las estaciones de medición en superficie utilizadas para la calibración del modelo, se aplica un proceso de interpolación de superficie (método Kriging) para obtener el campo de coeficientes *a* y *b* para la zona en estudio, este proceso se realiza tanto para los coeficientes de calibración horarios como para los diarios obtenidos tanto en base mensual como en base anual.

Luego, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.3, se determinan para el área de estudio la irradiación solar global horaria y la irradiación solar global diaria, tanto en base mensual como en base anual, y que para efectos de simplicidad llamaremos irradiación solar horaria y irradiación solar diaria respectivamente. Posteriormente se promedian todas las imágenes de irradiación solar diaria de cada mes para obtener la media mensual y de todo el año para obtener la media anual, para todos los meses y años de estudio.

Por último, con el fin de obtener un valor promedio de la irradiación solar en el período de estudio se genera lo que se denomina año medio, al cual puede dársele alguna connotación climatológica. El año medio se genera día a día promediando las 5 imágenes (o menos) de irradiación solar diaria obtenidas de cada año para un mismo día. Posteriormente se obtiene la media mensual y la media anual de la irradiación solar diaria de este año medio siguiendo la misma metodología que para un año estándar.

7.5 Comparación entre los resultados obtenidos a partir de imágenes NOAA-AVHRR con mediciones de superficie

Para la validación de los resultados se comparó la irradiación solar (horaria y diaria) estimada por el modelo con la obtenida por piranómetros en estaciones de medición en superficie. En la estimación de la irradiación solar por medio de imágenes de satélite se utilizaron los datos de las estaciones de calibración, para luego comparar los resultados así obtenidos con otro conjunto de datos independientes de estaciones de medición en superficie, denominadas estaciones de validación (Tabla 4.6).

En las Figuras 7.7 a la 7.12 a modo de ejemplo se muestra para el año 1998 la comparación entre la irradiación solar estimada por el modelo y la obtenida por la medida de piranómetros, en cada figura se muestran las graficas para cada estación de validación por separado y luego en conjunto con el fin de obtener una valoración media del año en consideración. Primero se muestra la validación de los datos horarios de las 14 horas, en la Figura 7.7 los obtenidos en base mensual y en la Figura 7.8 en base anual, luego la validación de los datos horarios de las 15 horas, en la Figura 7.9 los obtenidos en base mensual y en la Figura 7.10 en base anual y por último la validación de los datos diarios, en la Figura 7.11 los obtenidos en base mensual y en la Figura 7.12 en base anual. La línea diagonal continua (en gris), de pendiente 1, muestra el ajuste teórico perfecto entre las mediciones y la estimación realizada por el modelo, mientras que la línea discontinua (en azul) representa la curva de ajuste por regresión. En cada gráfica se muestra la ecuación de regresión que mejor se ajusta a los datos. También se incluye el coeficiente de determinación de cada una de las curvas de ajuste.

A continuación en las Tablas 7.8 a la 7.11 se muestra para el año 1998 la validación de los resultados de irradiación solar superficial obtenidos por el modelo para datos diarios y para datos horarios de las 13, 14 y 15 horas. En cada tabla se muestran los valores de RMSE y MBE que resultan de la comparación entre los datos estimados y los observados, primero para cada estación de validación por separado y luego, con el propósito de obtener la media de todas las estaciones, en conjunto. Además esta misma estructura se repite primero para los datos calculados en base mensual y luego en base anual.

En el Anexo F, desde la Tabla a la Tabla se muestran la validación de los resultados de irradiación solar superficial obtenidos por el modelo para todos los años para datos horarios y diarios. La estructura de cada tabla es la misma que la de las Tablas 7.8 a la 7.11 explicadas en el párrafo anterior.

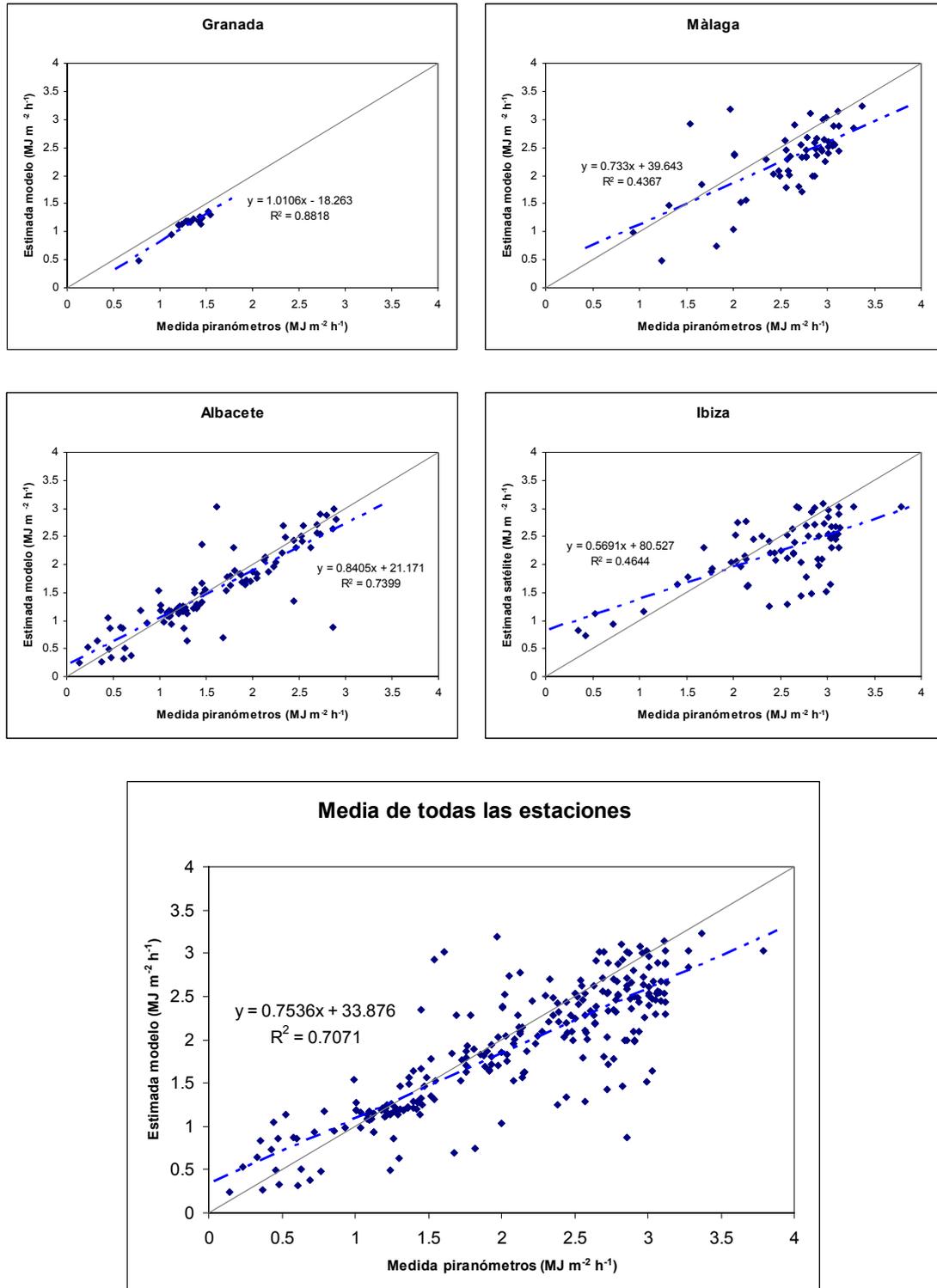


Figura 7.7: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 14 horas en base mensual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

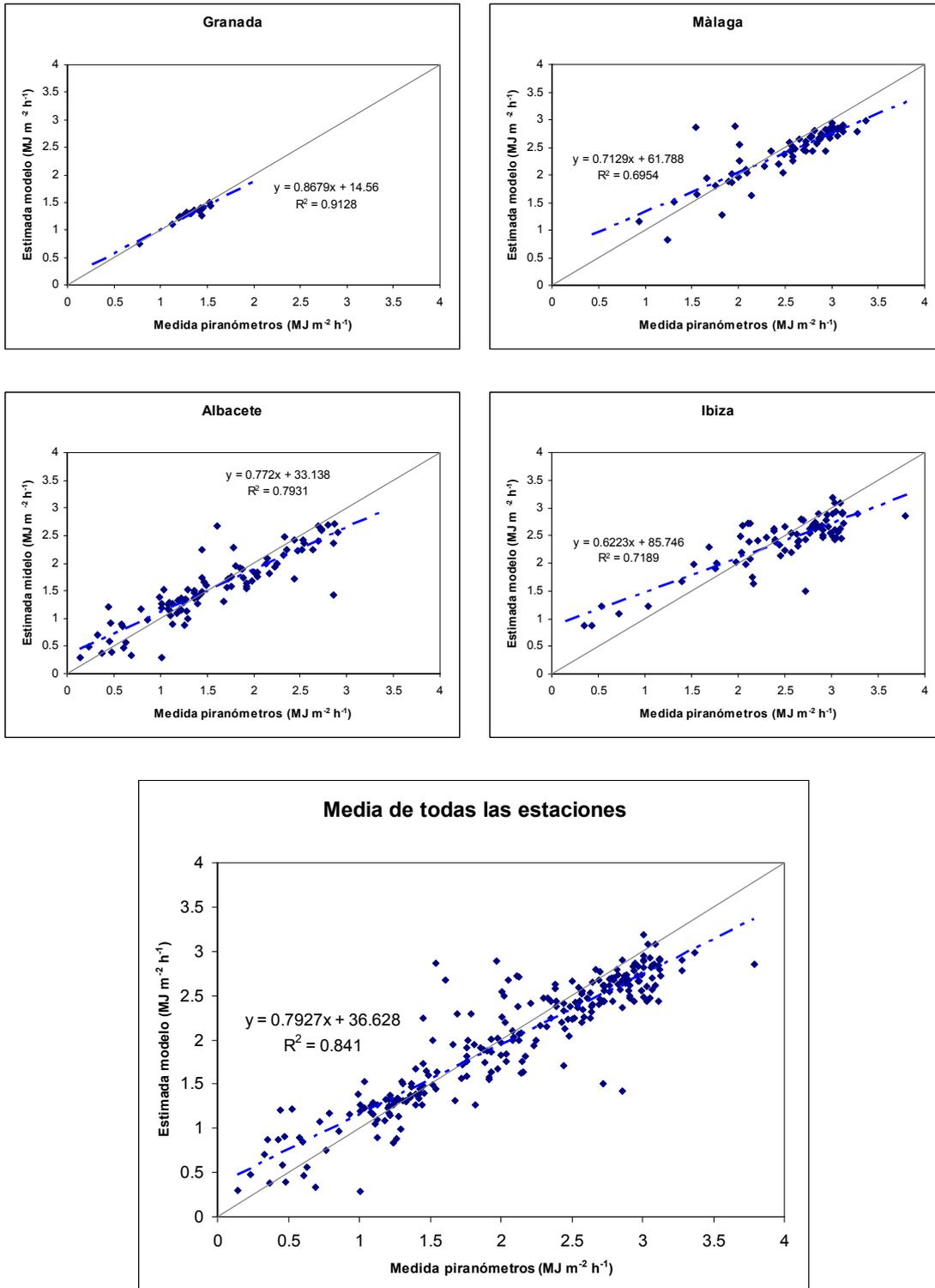


Figura 7.8: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 14 horas en base anual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

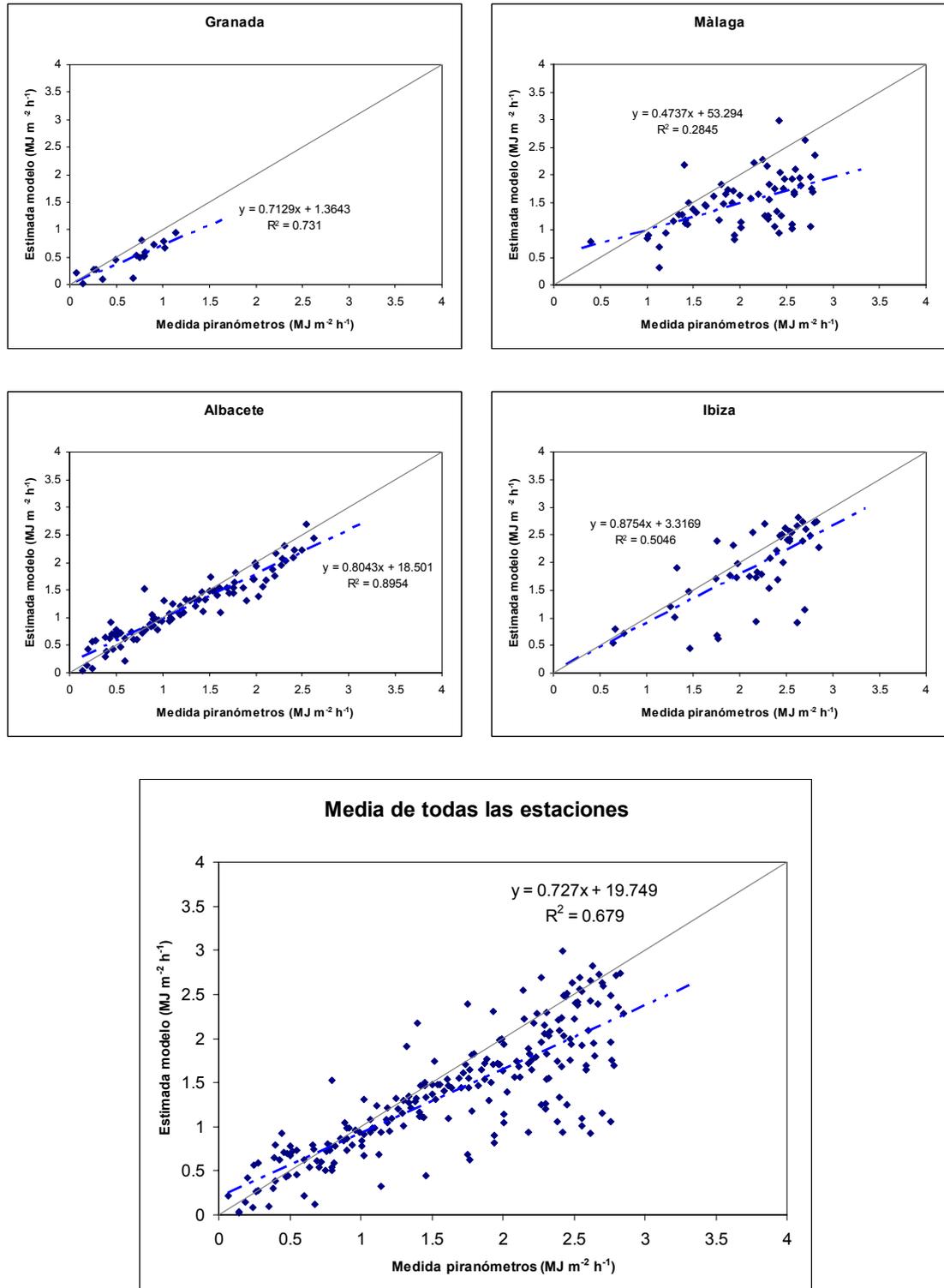


Figura 7.9: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 15 horas en base mensual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

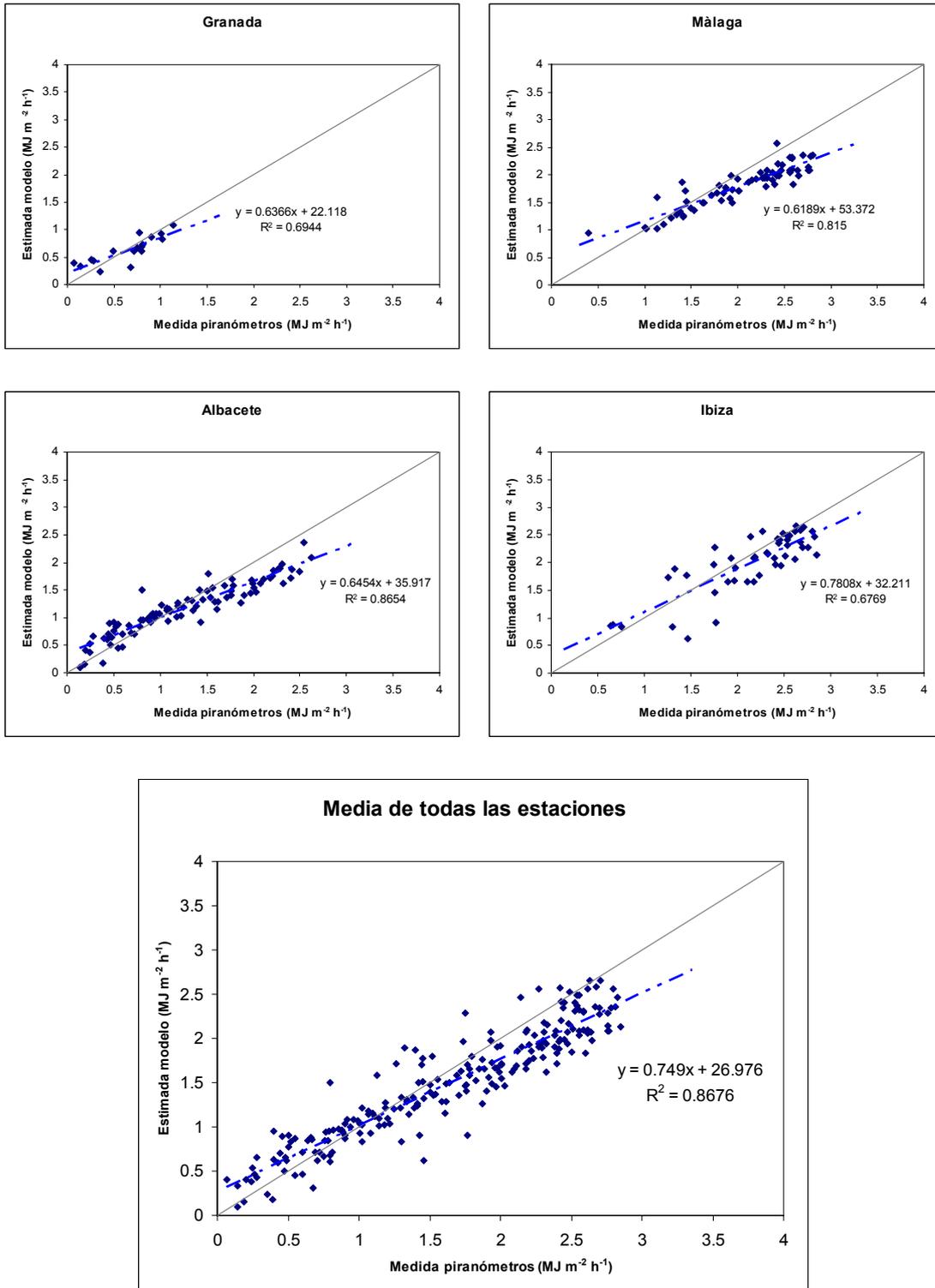


Figura 7.10: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 15 horas en base anual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

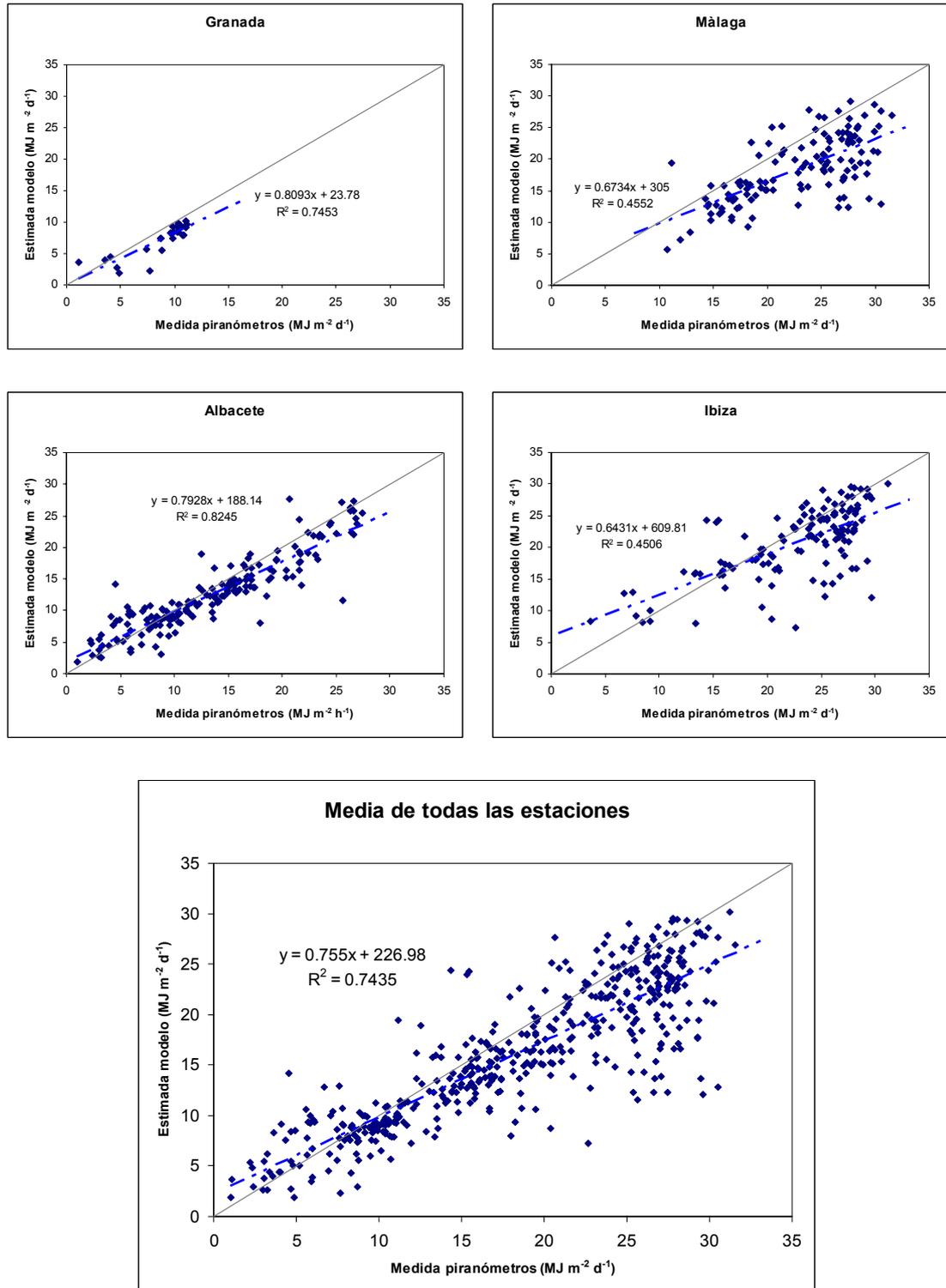


Figura 7.11: Comparación entre la irradiación solar diaria en base mensual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

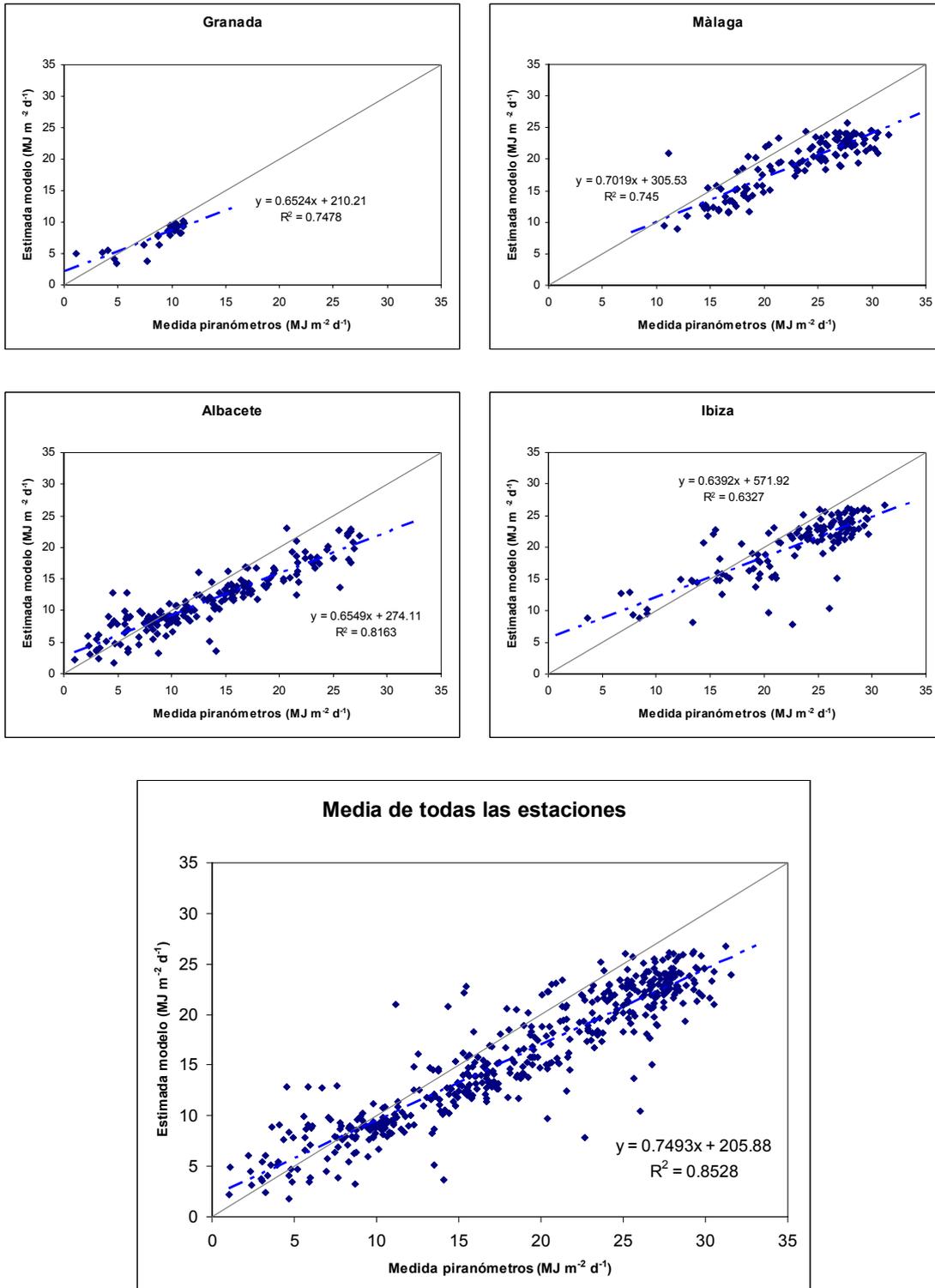


Figura 7.12: Comparación entre la irradiación solar diaria en base anual estimada por el modelo y la medida en los piranómetros, para el año 1998

Tabla 7.8: Comparación entre la irradiación solar diaria estimada por el modelo y la medida por piranómetros para el año 1998

Base mensual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² d ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² d ⁻¹)	(%)
Granada	-1322	-14.6	1724	19.1
Málaga	-4111	-18.3	6124	27.3
Albacete	-849	-6.2	3107	22.8
San José	-2216	-9.7	5207	22.8
Media	-2135	-11.7	4636	25.5

Base anual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² d ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² d ⁻¹)	(%)
Granada	-507	-5.6	1364	15.1
Málaga	-2610	-11.6	3887	17.3
Albacete	-1137	-8.3	3349	24.6
San José	-1456	-6.4	3724	16.3
Media	-1592	-8.8	3526	19.4

Tabla 7.9: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 13 horas estimada por el modelo y la medida por piranómetros para el año 1998

Base mensual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Málaga	-450	-14.5	563	18.2
Albacete	-7	-0.4	416	22.0
San José	-21	-8.1	389	15.0
Media	-161	-6.9	461	19.8

Base anual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Málaga	-208	-6.7	229	7.4
Albacete	-8	-0.4	366	18.7
San José	96	3.7	262	10.1
Media	-55	-2.3	319	13.4

Tabla 7.10: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 14 horas estimada por el modelo y la medida por piranómetros para el año 1998

Base mensual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Granada	-83	-6.4	99	7.7
Málaga	-331	-13.5	561	22.9
Albacete	-63	-4.0	371	24.0
San José	-251	-10.1	562	22.6
Media	-192	-9.4	481	23.4

Base anual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Granada	41	3.2	68	5.3
Málaga	-183	-7.5	338	13.8
Albacete	-53	-3.4	347	22.4
San José	-93	-3.7	373	15.0
Media	-96	-4.7	343	16.7

Tabla 7.11: Comparación entre la irradiación solar horaria de las 15 horas estimada por el modelo y la medida por piranómetros para el año 1998

Base mensual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Granada	-99	-15.1	171	26.1
Málaga	-524	-26.0	728	36.0
Albacete	-122	-9.4	279	21.4
San José	-210	-9.7	553	25.7
Media	-258	-15.7	508	30.8

Base anual				
Estación	MBE		RMSE	
	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kJ m ⁻² h ⁻¹)	(%)
Granada	68	10.4	166	25.3
Málaga	-295	-14.6	392	19.4
Albacete	-127	-9.8	324	25.0
San José	-122	-5.7	348	16.1
Media	-159	-9.6	341	20.7

En las Tablas 7.12 a la Tabla 7.15 se resume la validación de los resultados (Tablas del Anexo F). Se muestra el RMSE y el MBE medios de cada año, obtenidos de la comparación entre la irradiación solar estimada por el modelo y la medida por los piranómetros para todas las estaciones en conjunto, en las Tablas 7.12 y 7.13 para los datos diarios y en las Tablas 7.14 y 7.15 para los datos horarios. En el caso de los datos horarios se muestran, de cada año, el RMSE y el MBE medios de las distintas horas consideradas conjuntamente con la media anual de estas.

Tabla 7.12: RMSE medio para la irradiación solar diaria estimada por el modelo

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Base mensual	25.5 %	33.1 %	23.8 %	23.3 %	24.0 %	25.9 %
Base anual	19.4 %	32.0 %	22.5 %	23.6 %	23.5 %	24.2 %

Tabla 7.13: MBE medio para la irradiación solar diaria estimada por el modelo

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Base mensual	-11.7 %	5.7 %	-5.7 %	-3.2 %	-7.1 %	-4.4 %
Base anual	-8.8 %	6.2 %	-5.8 %	-2.2 %	-8.2 %	-3.8 %

Tabla 7.14: RMSE medio para la irradiación solar horaria estimada por el modelo

Base mensual						
hora	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
13	19.8 %				21.5 %	8.3 %
14	23.4 %	32.3 %		25.2 %	28.1 %	21.8 %
15	30.8 %	33.3 %	23.3 %	30.3 %		23.5 %
16		29.5 %	28.0 %	29.2 %		17.3 %
Media anual	18.5 %	23.8 %	12.8 %	21.2 %	12.4 %	17.7 %
Base anual						
hora	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
13	13.4 %				20.5 %	6.8 %
14	16.7 %	31.5 %		28.3 %	25.0 %	20.3 %
15	20.7 %	31.1 %	21.5 %	26.1 %		19.9 %
16		28.0 %	26.3 %	29.0 %		16.7 %
Media anual	12.7 %	22.6 %	11.9 %	20.9 %	11.4 %	15.9 %

Tabla 7.15: MBE medio para la irradiación solar horaria estimada por el modelo

Base mensual						
hora	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
13	-6.9 %				-3.5 %	-2.1 %
14	-9.4 %	8.6 %		-1.6 %	-7.7 %	-2.0 %
15	-15.7 %	8.4 %	0.3 %	-5.3 %		-2.5 %
16		3.7 %	-3.9 %	5.9 %		1.1 %
Media anual	-8.0 %	5.2 %	-0.9 %	-0.3 %	-2.8 %	1.4 %

Base anual						
hora	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
13	-2.3 %				-4.5 %	-1.4 %
14	-4.7 %	11.9 %		-7.6 %	-8.1 %	-1.7 %
15	-9.6 %	9.8 %	1.8 %	-7.4 %		-1.1 %
16		2.3 %	-2.2 %	-1.0 %		-0.2 %
Media anual	-4.2 %	6.0 %	-0.1 %	-4.0 %	-3.1 %	-1.1 %

Se observa que, en relación a los valores medios anuales para el período de estudio, los resultados calculados en base mensual tienen un RMSE algo mayor que los calculados en base anual, 25.9% frente a 24.2% para los datos diarios y 17.7% frente a 15.9% para los datos horarios. Lo mismo sucede en relación al MBE, -4.4% frente a un -3.8% para los datos diarios y -1.4% frente a un -1.1% para los datos diarios. Lo anterior indica que según la modelación efectuada los datos calculados en base anual son levemente mejores que los calculados en base mensual, tanto en lo que respecta al RMSE como al MBE. Dado esto todas las referencias futuras a los resultados estarán orientadas a los datos calculados en base anual.

Adicionalmente se observa que en general el modelo subestima levemente los valores de irradiación medidos por los piranómetros, excepto par el año 1999 donde el MBE es positivo (5.7%).

Por último se presentan los valores extremos de RMSE y MBE, determinados para todas las estaciones para todos los años, se ha resumido su información en las Tablas 7.16 a la 7.19, donde se muestran los valores mínimos y máximos para los datos diarios y luego para los datos horarios.

Tabla 7.16: MBE mínimos y máximos para los datos diarios

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Mínimo	-5.6%	-1.1%	1.3%	0.3%	0.1%	-1.0%
Máximo	-11.6%	22.5%	28.9%	17.6%	23.5%	-16.2%

Tabla 7.17: RMSE mínimos y máximos para los datos diarios

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Mínimo	15.1%	21.0%	18.0%	16.4%	18.7%	17.8%
Máximo	24.6%	45.9%	36.1%	42.3%	44.7%	38.7%

Para los datos diarios el valor mínimo de MBE fue de 0.1% y se dio en la estación Corón para el año 2002 con un RMSE de 18.7%, mientras que el máximo valor de MBE de 28.9% tuvo lugar en la estación Badajoz con un RMSE de 36.1%, que corresponde al máximo RMSE del año. El mayor RMSE de 45.9% se obtiene para la estación San Sebastián para el año 1999 con un MBE de 22.5%, que corresponde al valor máximo del año, mientras que el menor RMSE de 15.1% se dio en la estación Granada para el año 1998 con un MBE de -5.6%, que corresponde al mínimo MBE del año.

Tabla 7.18: MBE mínimos y máximos para los datos horarios

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Mínimo	-0.4%	-1.9%	0.0%	0.2%	0.7%	-0.3%
Máximo	-14.6%	33.6%	55.2%	-45.0%	32.7%	12.4%

Tabla 7.19: RMSE mínimos y máximos para los datos horarios

	1998	1999	2000	2001	2002	Media del período
Mínimo	5.3%	19.6%	12.2%	2.9%	18.1%	11.6%
Máximo	25.3%	49.1%	62.9%	121.3%	53.8%	62.5%

Para los datos diarios el valor mínimo de MBE fue de 0% y se dio en la estación Huelva para el año 2000 con un RMSE de 17.6%, mientras que el máximo valor de MBE de 55.2% tuvo lugar el mismo año en la estación Badajoz con un RMSE de 62.9%, que corresponde al máximo RMSE de año. El mayor RMSE de 121.3% se obtiene para el año 2001 en la estación Corón con un MBE de 27.3%, mientras que el menor RMSE de 2.9% se dio en la estación Tortosa con un MBE de -2.9%.

Zelenka et al. (1999) consideran que para cualquier aplicación que requiera datos específicos para un lugar y tiempo determinado, el usuario debe confiar plenamente en los datos de satélite, más que en los datos obtenidos por los alrededores de las estaciones de medición, si éstas se encuentran espaciadas más de 20-30 km una de otra. En el caso de la Península Ibérica las estaciones se encuentran en promedio a una distancia de 90 km, por lo que en todos los casos se recomienda el uso de los resultados obtenidos a partir de las imágenes de satélite.

Esto se debe principalmente, a que los datos obtenidos por satélite, al ser espacialmente continuos y obtener registros en diferentes bandas del espectro electromagnético, toman en cuenta variaciones espaciales y locales de la irradiación solar horaria, mientras que la interpolación en superficie de los datos de estaciones de medición no tiene en consideración.

Laine et al. (1999) lleva a cabo un análisis similar para comprobar la precisión de la estimación de la irradiación solar diaria determinada por satélite y la obtenida mediante interpolación de datos en superficie. Para ello compara la distribución de la estimación realizada por satélite con aquella obtenida mediante la interpolación de datos de piranómetros distribuidos en la región de Finlandia. Obtiene que en el sur de Finlandia la estimación de la irradiación solar diaria realizada por satélite y la derivada mediante interpolación en superficie son de igual calidad (error estándar alrededor de 10% - 15%). En el norte de Finlandia, donde las estaciones de medición en superficie son muy escasas y se encuentran muy espaciadas unas de otras, los valores estimados por satélites son mucho más precisos (error estándar alrededor de 11% - 16%) que los obtenidos mediante interpolación de datos en superficie (error estándar alrededor de 43% - 74%). Es de hacer notar que Laine et al. (1999) obtienen diferencias muy grandes entre la estimación realizada por satélite y la obtenida mediante interpolación en superficie en el norte de Finlandia. Esto se debe probablemente al bajo número de estaciones de medición en superficie y a su distribución no homogénea en el territorio, con muy poca o ninguna presencia en el norte.

En la Península Ibérica ocurre algo similar, dado que una separación de 90 km entre estaciones se considera excesiva por lo que la determinación de la irradiación solar mediante imágenes de satélite resulta imprescindible.

7.5.1 Comparación de la irradiación solar diaria obtenida con las estaciones de Palma de Mallorca, Mahón e Ibiza

A continuación se muestra (Tablas 7.20, 7.21 y 7.22) la comparación de la irradiación solar diaria obtenida utilizando datos del satélite para los años 1998, 1999 y para el año medio con los valores de las estaciones de Palma de Mallorca, Mahón (Menorca) e Ibiza que aparecen en el European Solar Radiation Atlas (Kasten et al., 1996), en el Atlas de Radiación Solar Europeo (Aguiar et al., 2000), en el Atlas de Radiación Solar en España (Font, 1984), en los trabajos de Clar et al (1987), en el Atlas de Radiación Solar de Catalunya (Baldasano et al., 2001) y en el Atlas de Radiación Solar de las Islas Baleares (Flores et al., 2002). Adicionalmente se muestra esta información en forma gráfica en las Figuras 7.13 7.15 y 7.15, para las estaciones de Palma, Mahón e Ibiza respectivamente, en cada figura se muestran tres gráficos, en los dos primeros se compara la irradiación solar diaria obtenida en este trabajo y la obtenida por Flores et al. (2002), primero para datos de 1998 y luego para datos de 1999, adicionalmente se incluye los datos de irradiación solar diaria del año medio, en el tercer gráfico se compara la irradiación solar diaria obtenida de los diferentes Atlas y del trabajo de Clar et al (1987) con los datos de irradiación solar diaria del año medio obtenida en este trabajo.

Tabla 7.20: Irradiación solar diaria estación de Palma de Mallorca ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Mes	Atlas Europa 2000	Atlas Europa 1996	Atlas España 1984	Clar <i>et al</i> (1987)	CAT 2000	Flores et al. (2002)		Datos 1998	Datos 1999	Año Medio
						Datos 1998	Datos 1999			
Enero	7.5	8.5	7.2	7.2	7.3	7.9	8.1	6.4	8.1	8.1
Febrero	9.8	11.8	9.7	10.0	10.2	11.1	10.4	10.9	11.5	11.3
Marzo	14.7	14.4	15.5	13.8	14.5	17.1	15.6	15.3	16.2	14.6
Abril	18.8	18.8	18.0	18.3	19.2	20.6	19.6	19.8	20.7	19.1
Mayo	22.8	23.6	22.3	22.0	23.1	20.7	22.2	20.9	22.9	21.3
Junio	25.0	25.7	24.1	23.9	25.0	21.1	24.1	25.5	24.9	23.2
Julio	24.9	26.4	24.5	23.5	24.4	24.7	22.9	19.0	23.9	23.2
Agosto	21.8	23.3	21.2	20.8	21.5	18.5	19.5	20.6	20.5	20.4
Septiembre	16.8	17.5	16.9	16.7	17.0	16.5	16.4	16.1	17.1	16.4
Octubre	12.3	13.4	12.2	12.2	12.3	13.5	13.6	12.5	9.3	12.8
Noviembre	10.1	9.2	9.0	8.5	8.5	8.6	9.6	7.6	8.7	8.5
Diciembre	6.7	7.5	6.5	6.7	6.6	7.3	6.7	7.4	6.0	7.2
Media	15.8	16.7	15.5	15.3	15.8	15.6	15.7	15.0	16.8	15.6

Tabla 7.21: Irradiación solar diaria estación de Mahón (Menorca) ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Mes	Atlas España 1984	Clar <i>et al</i> (1987)	CAT 2000	Flores et al. (2002)		Datos 1998	Datos 1999	Año Medio
				Datos 1998	Datos 1999			
Enero	7.6	7.4	7.7	8.4	7.6	7.1	6.8	7.6
Febrero	10.8	10.1	10.3	9.7	10.8	11.1	10.1	10.4
Marzo	15.5	13.8	14.2	15.6	18.0	14.6	14.2	14.6
Abril	17.3	18.1	18.6	18.7	20.3	18.9	21.2	18.3
Mayo	22.7	21.7	22.2	21.5	22.0	20.9	22.8	21.3
Junio	24.1	23.4	24.1	23.1	20.7	25.9	25.4	24.2
Julio	24.1	23.0	23.7	22.8	22.4	20.4	23.8	23.6
Agosto	21.2	20.5	21.1	18.7	18.8	20.6	21.3	21.3
Septiembre	16.9	16.5	17.1	15.9	16.7	15.5	15.8	16.1
Octubre	11.9	12.2	12.7	12.8	12.8	12.0	10.7	12.0
Noviembre	9.4	8.7	8.1	8.4	9.5	8.3	8.8	7.7
Diciembre	6.5	7.0	7.3	6.8	7.5	6.2	5.4	6.6
Media	15.5	15.2	15.7	15.0	15.6	14.9	16.7	15.5

Tabla 7.22: Irradiación solar diaria estación de Ibiza ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Mes	CAT 2000	Flores et al. (2002)		Datos 1998	Datos 1999	Año Medio
		Datos 1998	Datos 1999			
Enero	7.9	9.1	7.7	8.5	7.8	8.5
Febrero	11.1	11.1	11.0	10.0	12.0	11.6
Marzo	15.6	16.6	17.3	15.9	15.8	14.8
Abril	20.5	22.3	21.4	19.3	20.9	19.2
Mayo	24.2	22.3	21.0	21.1	22.9	21.4
Junio	25.9	23.9	24.9	26.1	24.0	24.0
Julio	25.0	24.3	23.2	21.2	21.9	24.0
Agosto	21.8	19.0	19.5	21.8	21.9	21.4
Septiembre	17.1	18.2	18.2	16.4	16.0	17.1
Octubre	12.3	14.6	15.7	13.1	11.4	13.2
Noviembre	8.5	8.9	10.5	8.7	8.5	8.6
Diciembre	7.0	7.1	7.9	7.4	5.8	7.3
Media	16.4	16.0	16.4	15.5	16.6	16.0

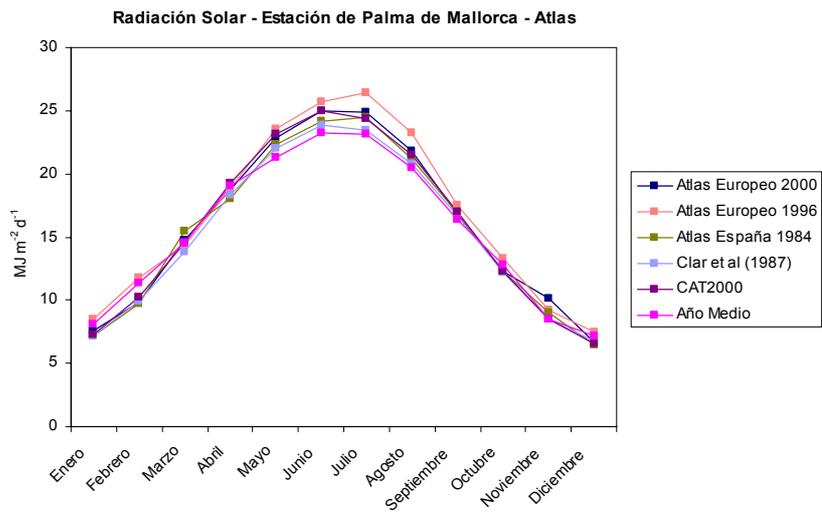
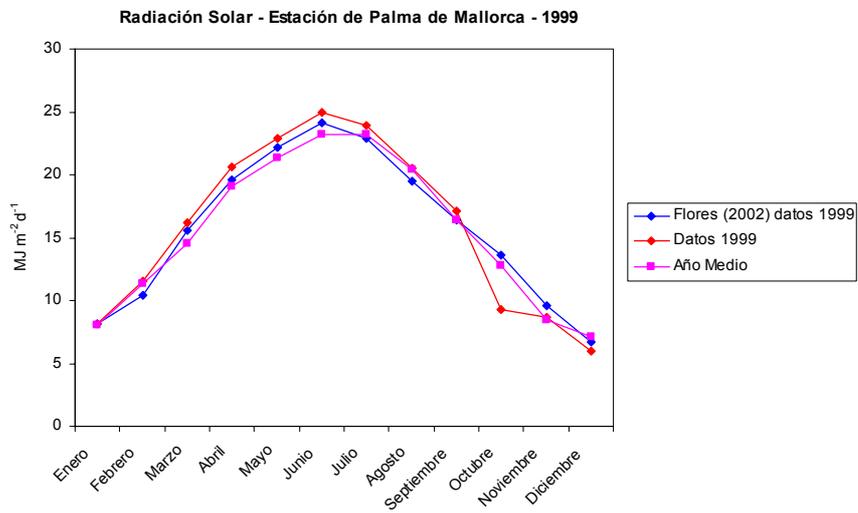
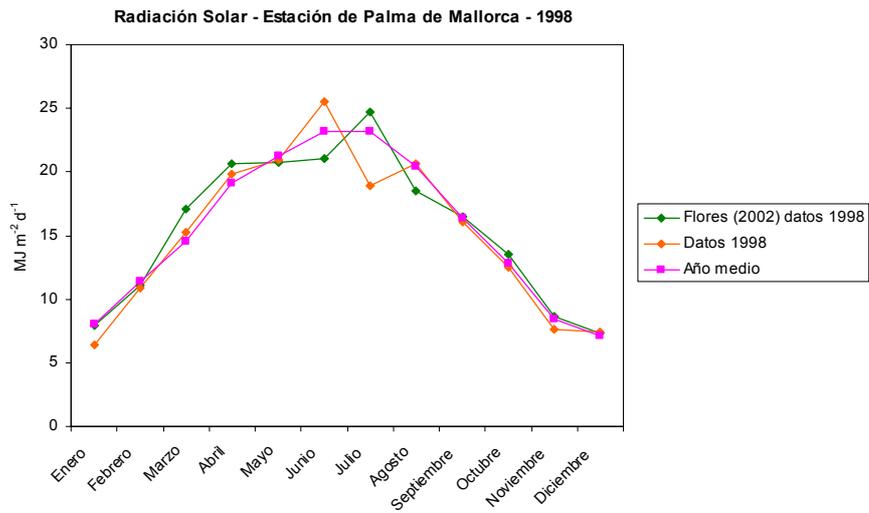


Figura 7.13: Irradiación solar diaria estación de Palma de Mallorca ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

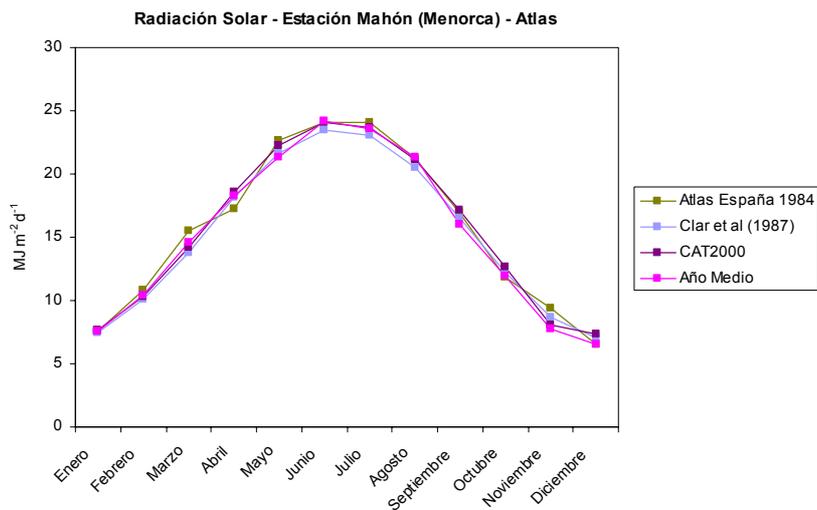
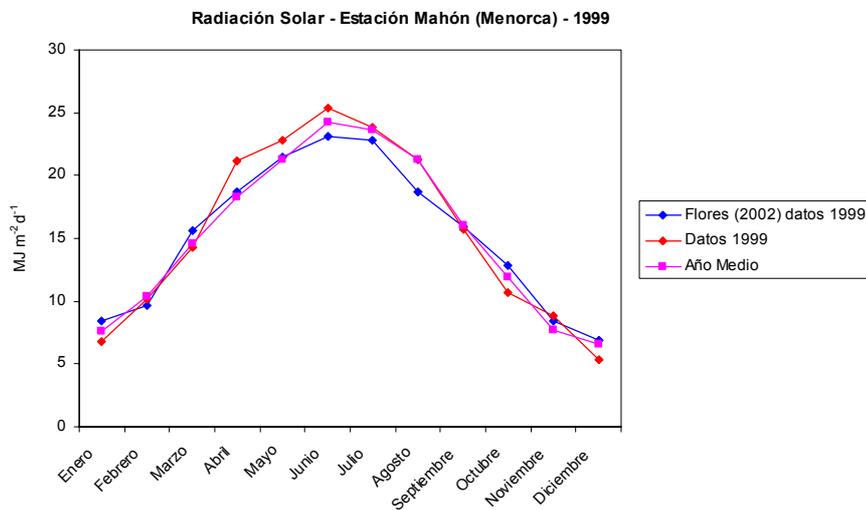
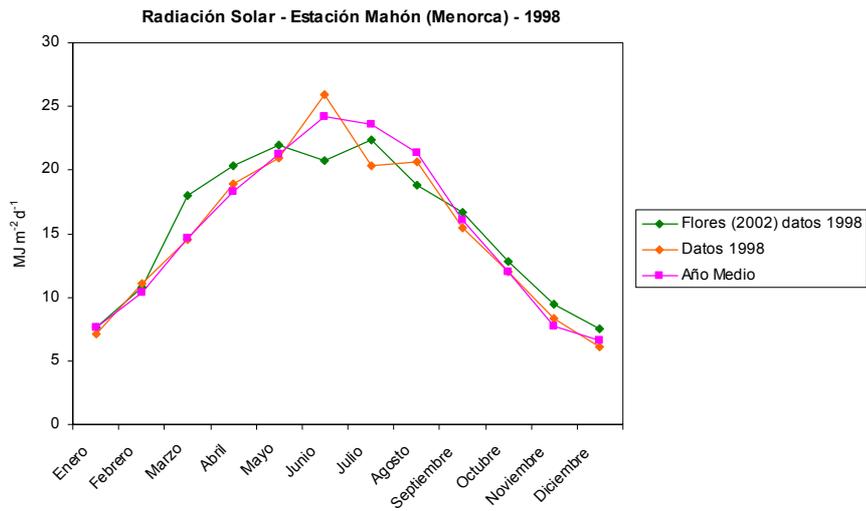


Figura 7.14: Irradiación solar diaria estación de Palma de Mallorca ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

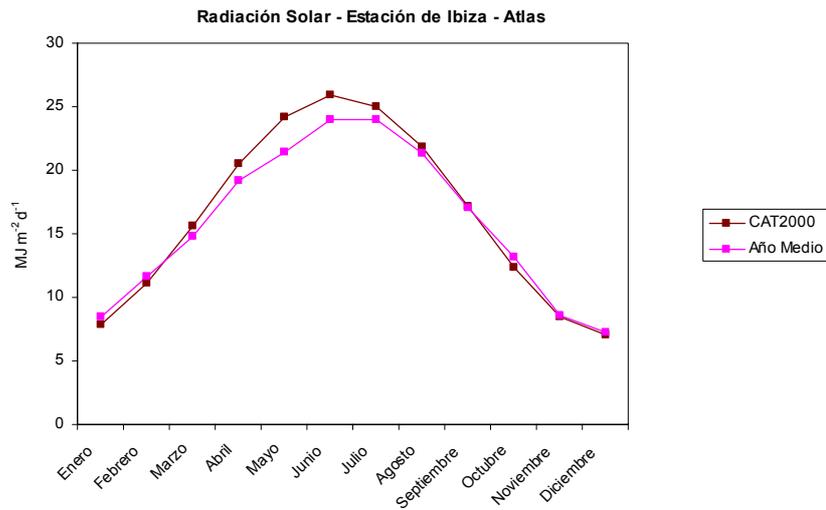
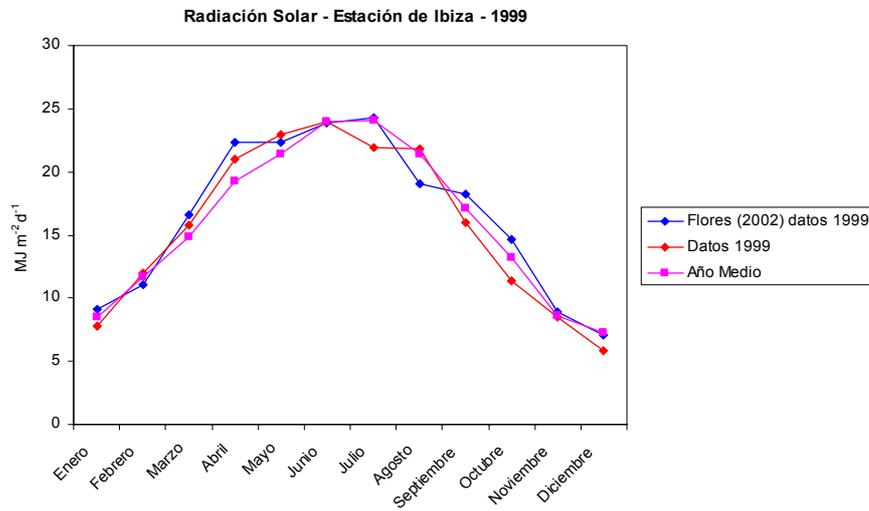
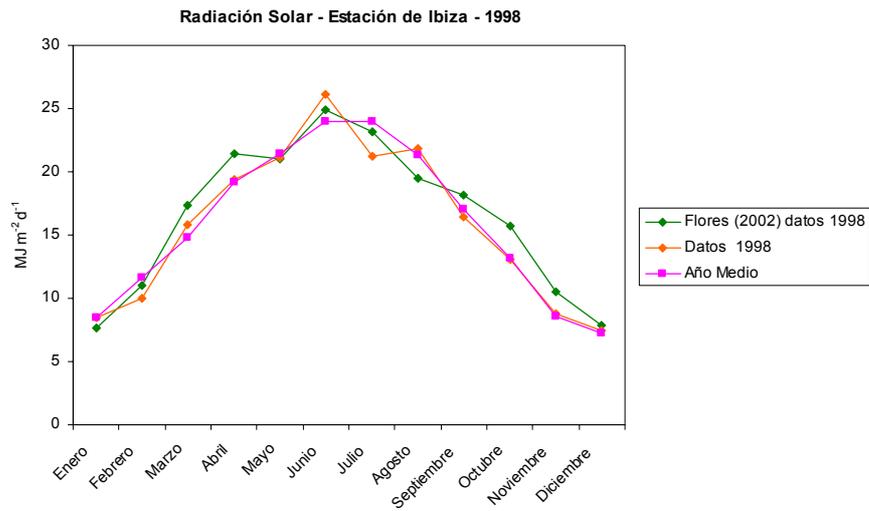


Figura 7.15: Irradiación solar diaria estación de Ibiza ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Se observa una buena correlación en el conjunto de los resultados. La comparación con los datos de los Atlas Europeos es buena, principalmente en lo que se refiere a los meses de invierno, en los meses de verano la irradiación solar calculada utilizando datos de satélite es ligeramente inferior que la indicada en ambos atlas. La comparación con los resultados del Atlas de Radiación Solar en España (Font, 1984) y del trabajo realizado por Clar et al. (1987) puede considerarse de excelente.

Esta comparación, permite contrastar los resultados obtenidos específicamente con datos de las Islas Baleares y verificar la aplicabilidad de los mismos al conjunto Balear, a pesar de ser específicos de un solo año. Ello no elimina, la necesidad de continuar trabajando en dar una total validez climática a este trabajo.

7.6 Mapas de irradiación solar diaria

7.6.1 Mapas de irradiación solar diaria año medio

En la Figura 7.16 se muestra la media anual de la irradiación solar diaria estimada por el modelo para el período 1998-2002 (año medio). En las Figuras 7.17 a la 7.28 se muestra la media mensual de la irradiación solar diaria de enero a diciembre igualmente para el año medio.

En cada figura se presentan dos mapas, el primero (superior) con una escala de valores absoluta (la misma para todos), cuyos valores van desde 2 a 32 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), con la finalidad de poder apreciar la variación de la radiación solar a lo largo del año. El segundo mapa (inferior) se presenta con una escala de valores relativa (propia de cada mapa), cuyos valores han sido escalados entre el valor máximo y el valor mínimo de cada imagen, con el propósito de poder apreciar con mayor detalle los contrastes de la irradiación solar sobre la zona de estudio.

A continuación en la Tabla 7.23 y en la Figura 7.29 se muestran los valores máximos, mínimos y medios para el año medio desde enero a diciembre y luego el valor medio anual, se observa que el valor medio esta alrededor de $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

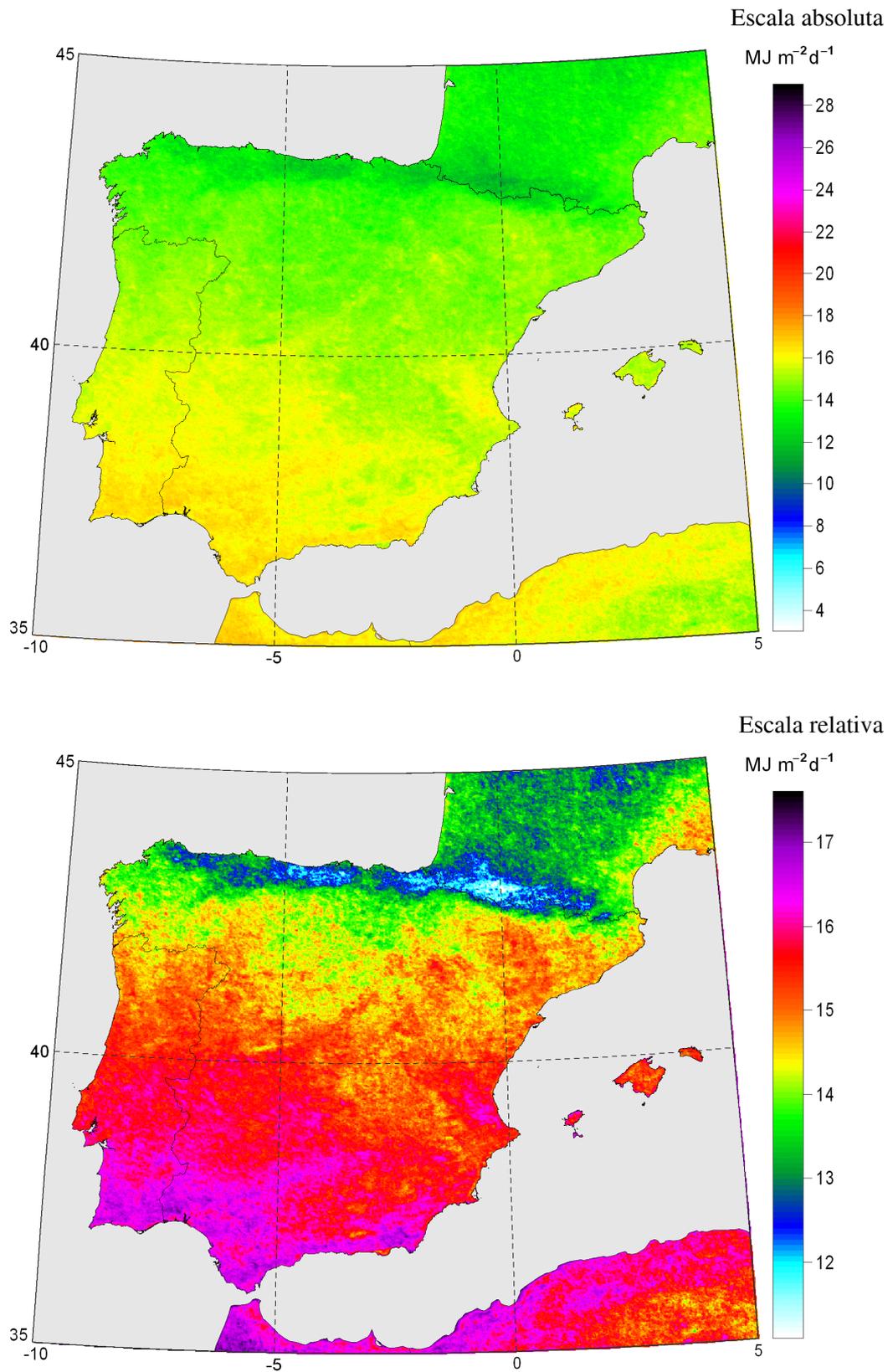


Figura 7.16: Mapas de Irradiación solar diaria, media anual - año medio (período 1998-2002) – Escala absoluta y escala relativa

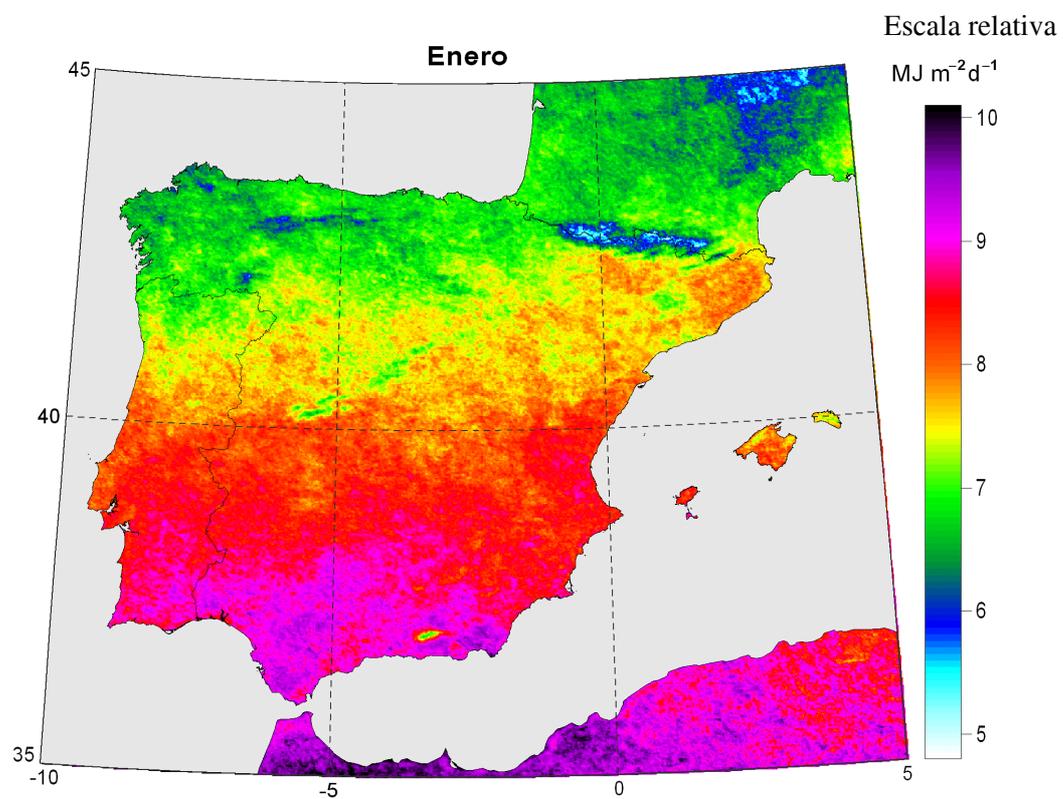
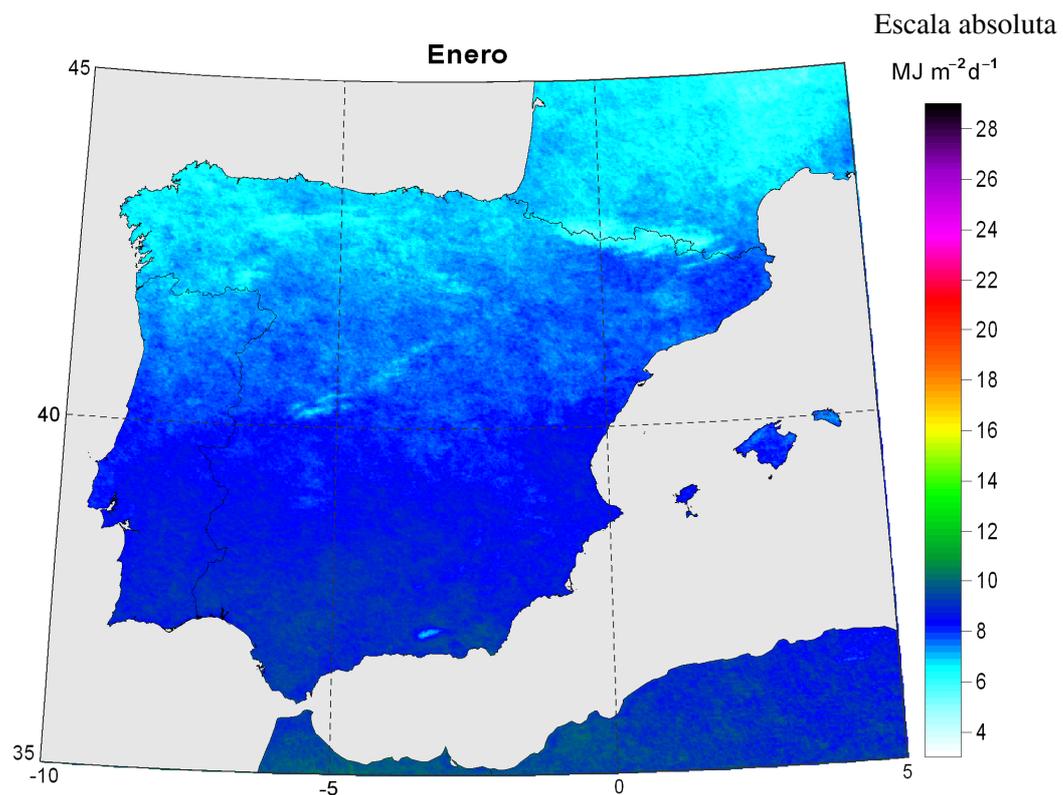


Figura 7.17: Mapas de la irradiación solar diaria media de enero - año medio

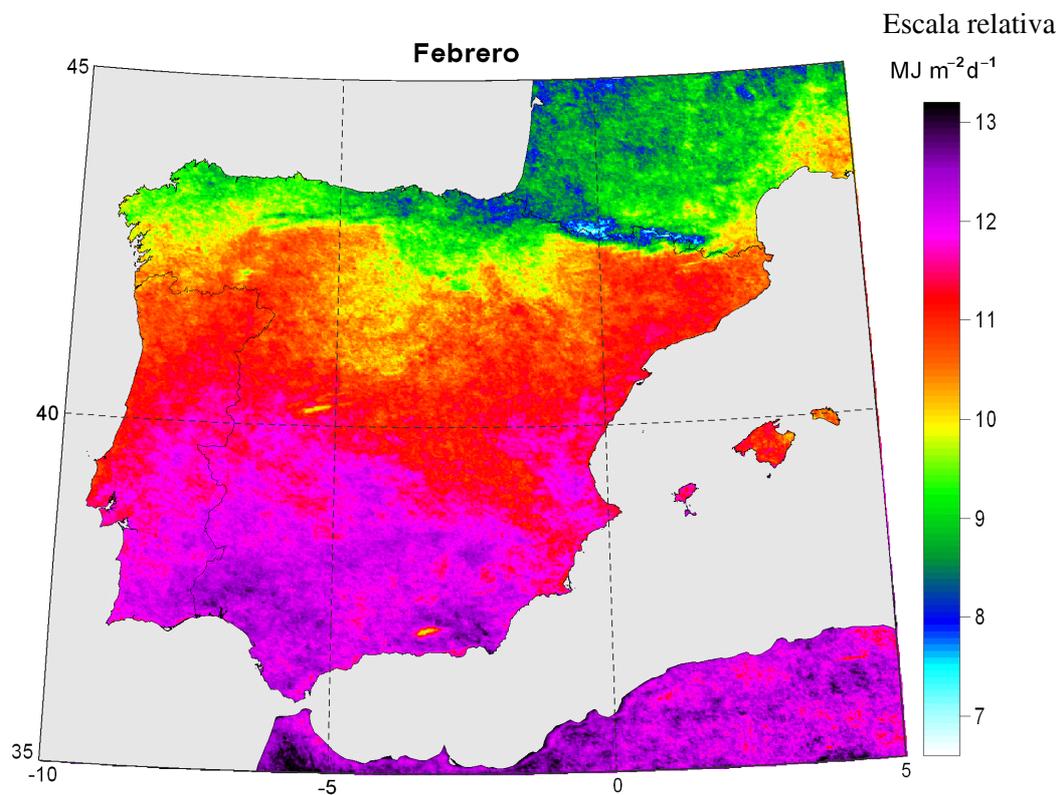
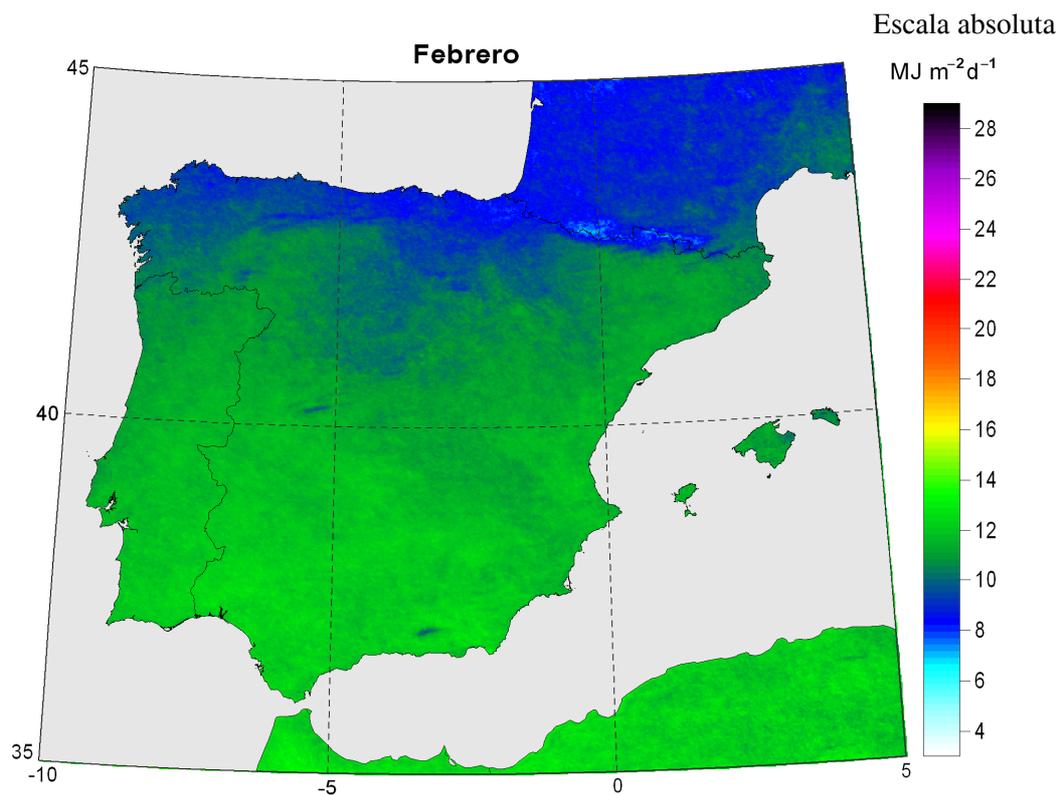


Figura 7.18: Mapas de la irradiación solar diaria media de febrero - año medio

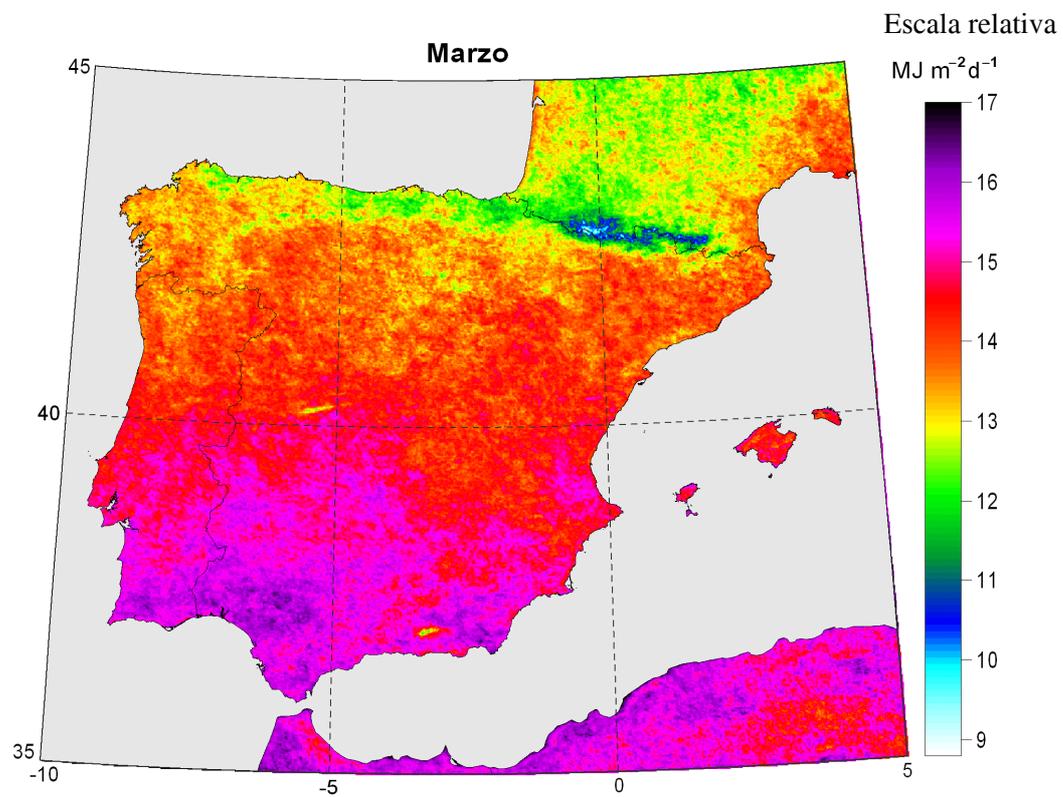
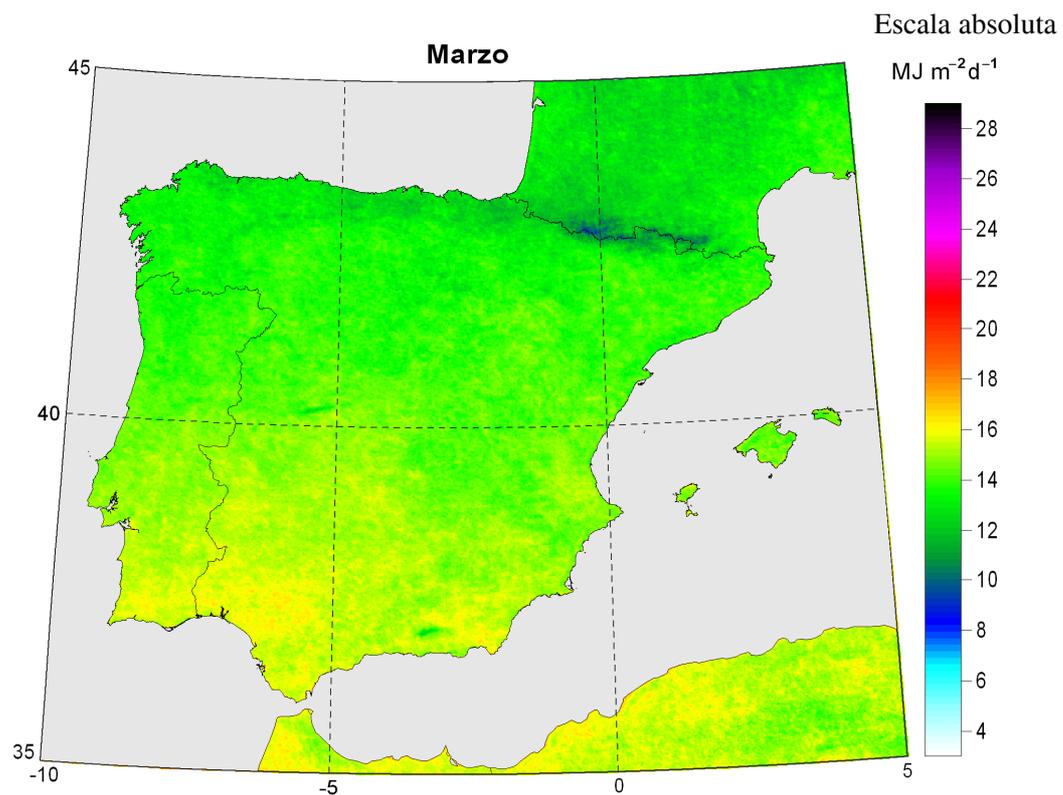


Figura 7.19: Mapas de la irradiación solar diaria media de marzo - año medio

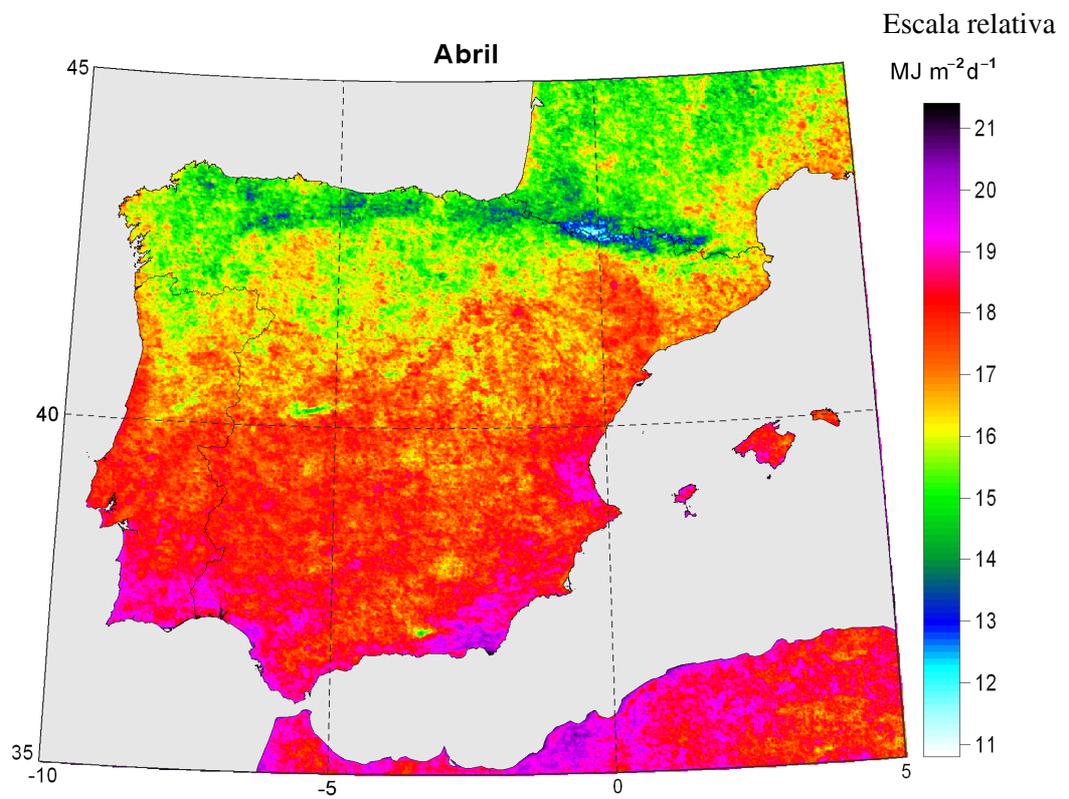
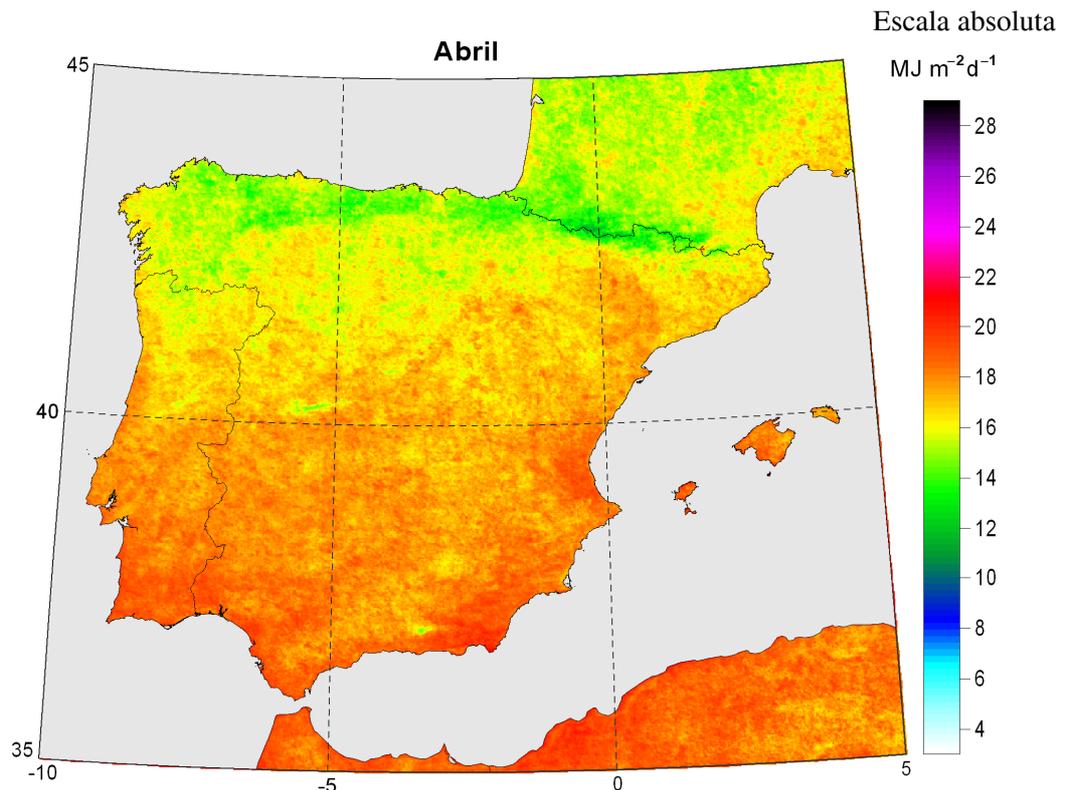


Figura 7.20: Mapas de la irradiación solar diaria media de abril - año medio

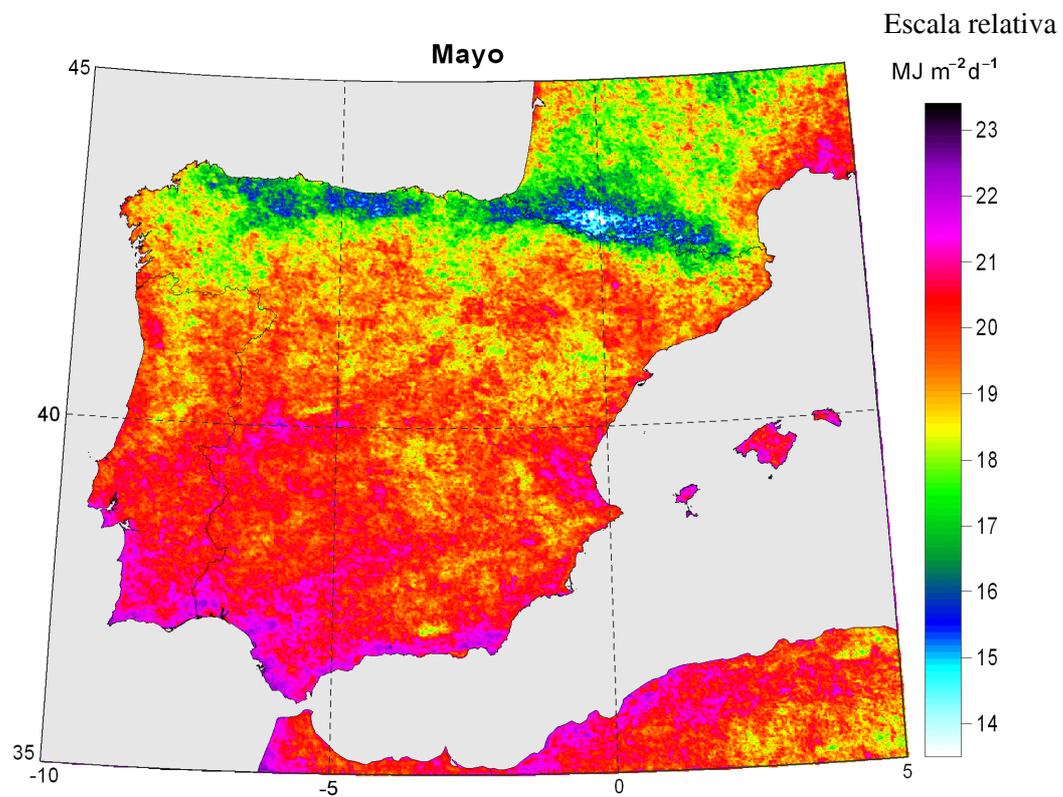
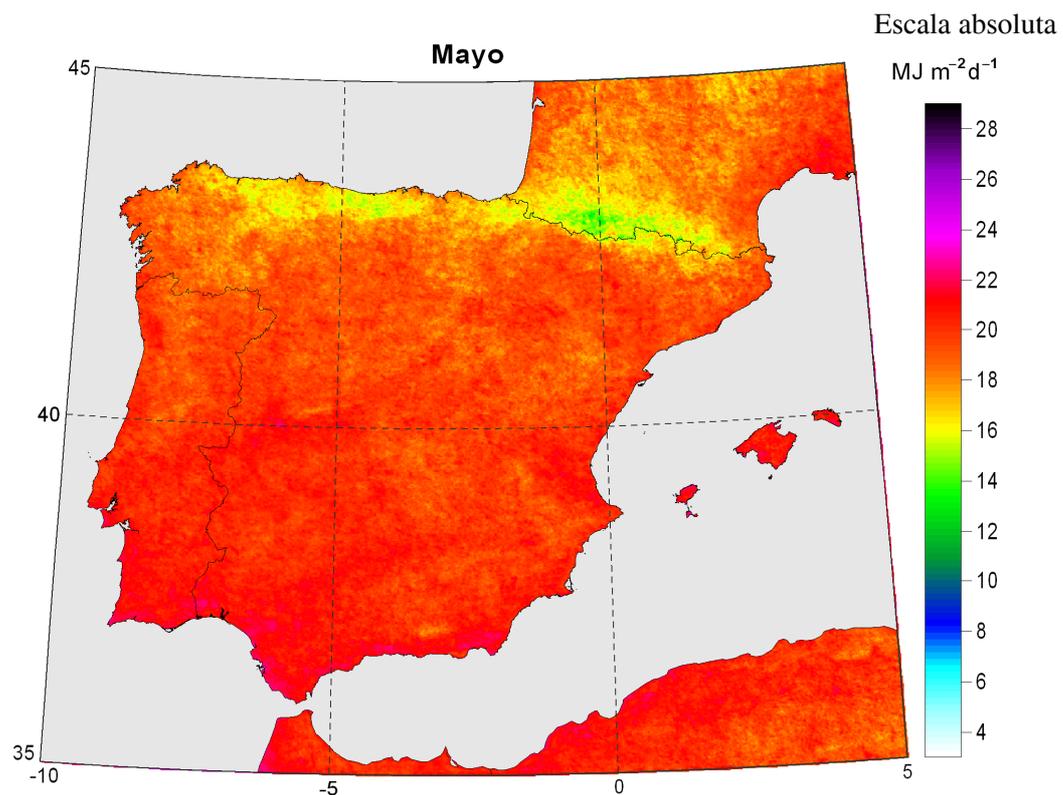


Figura 7.21: Mapas de la irradiación solar diaria media de mayo - año medio

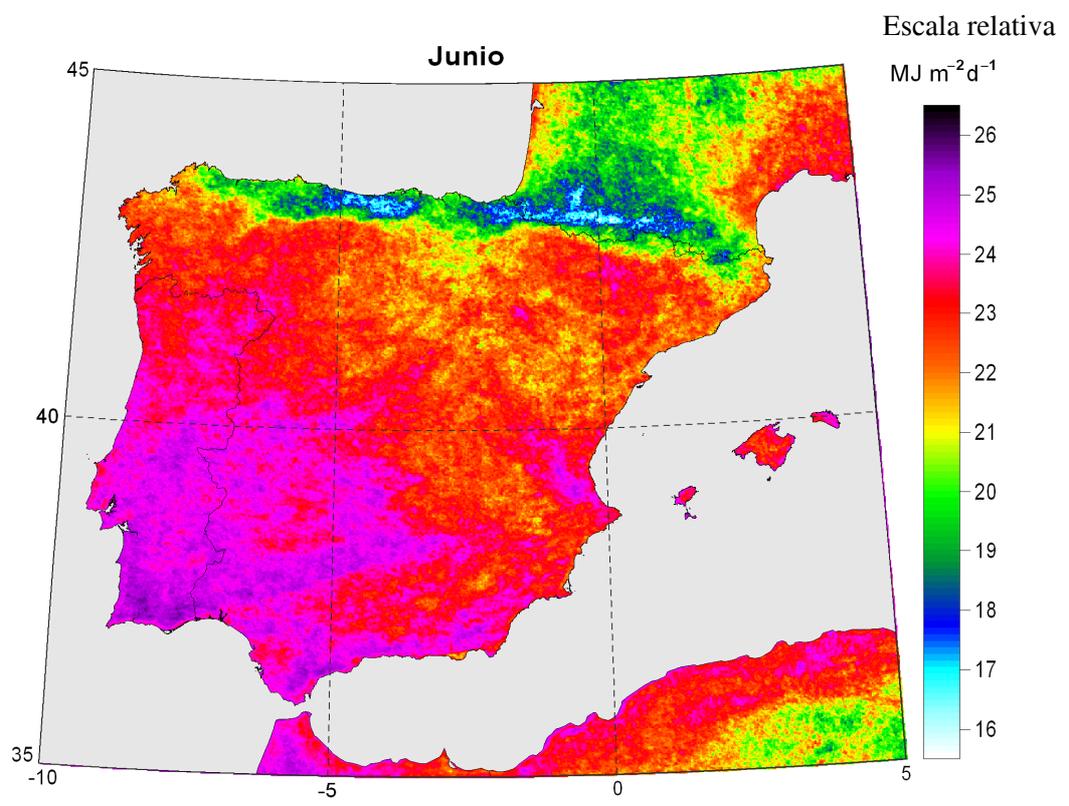
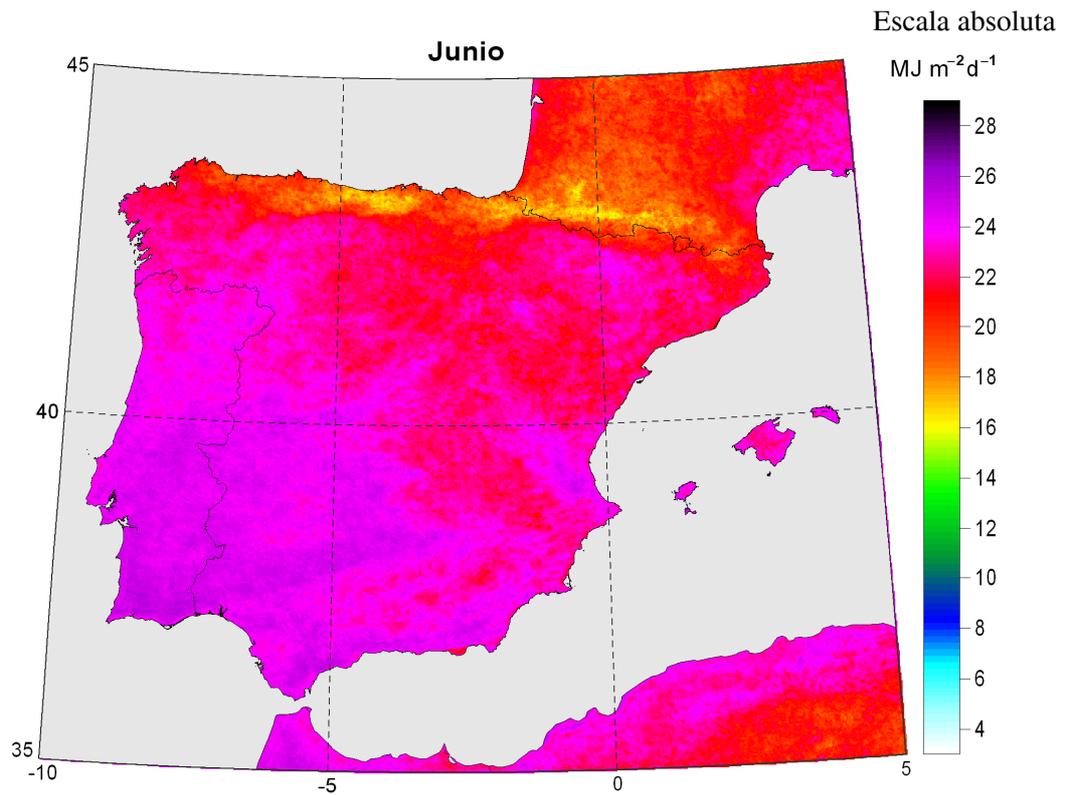


Figura 7.22: Mapas de la irradiación solar diaria media de junio - año medio

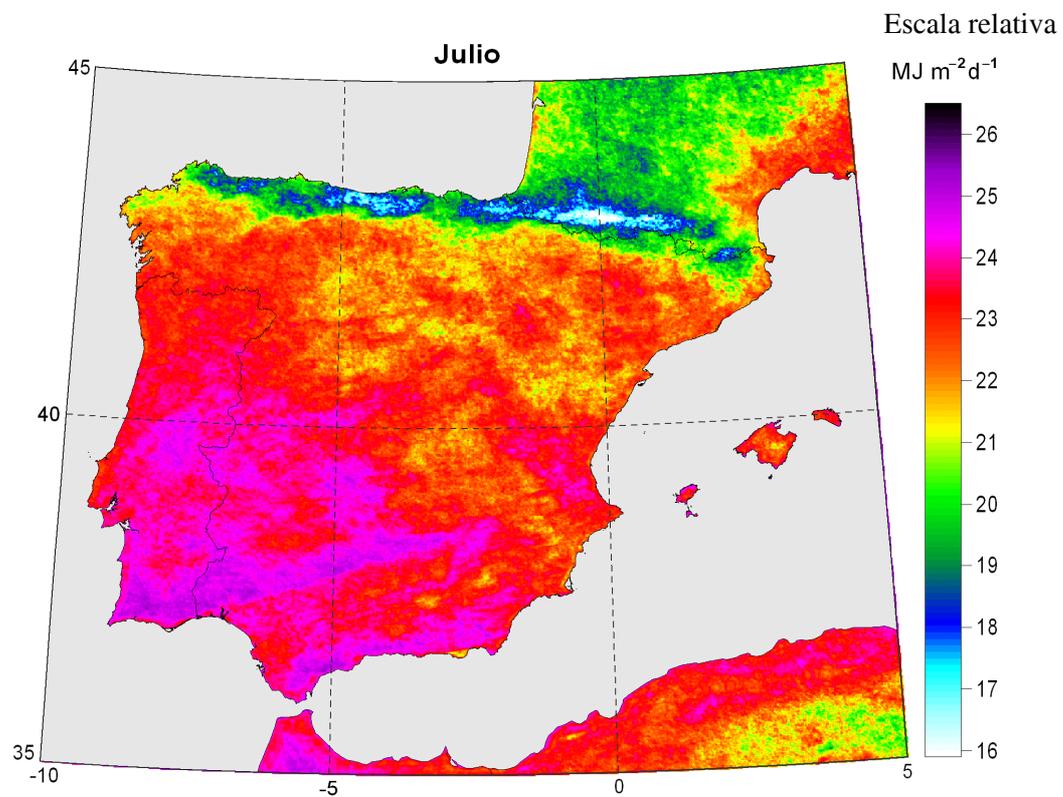
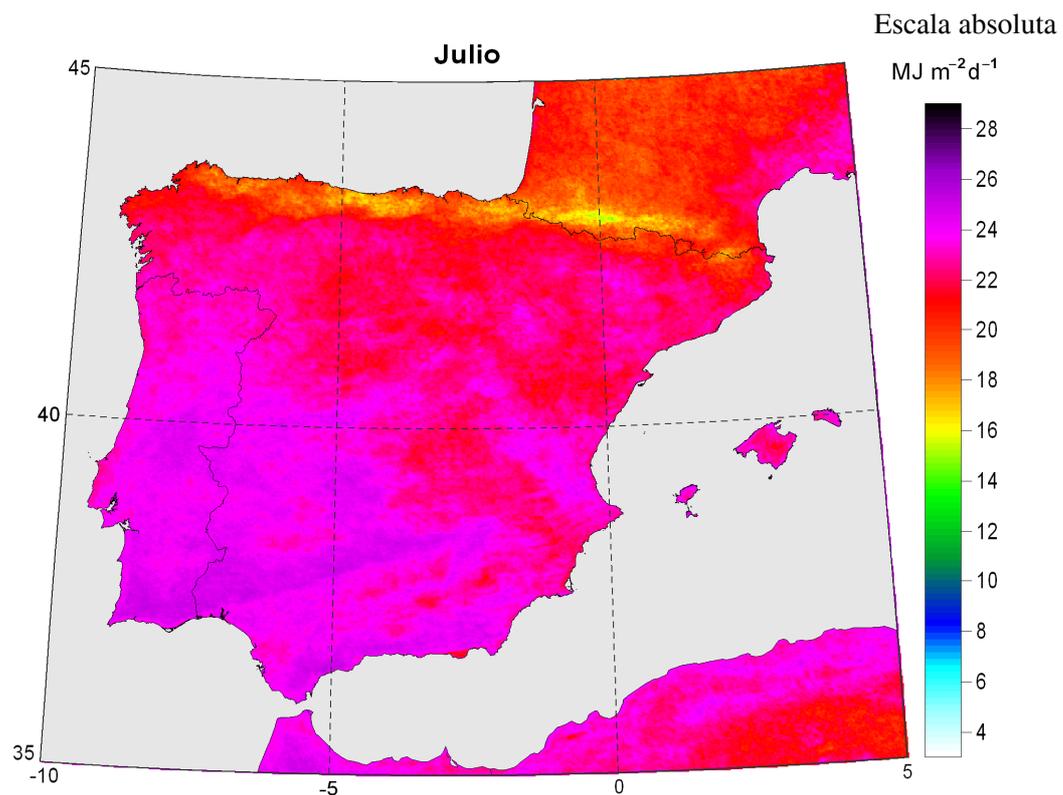


Figura 7.23: Mapas de la irradiación solar diaria media de julio - año medio

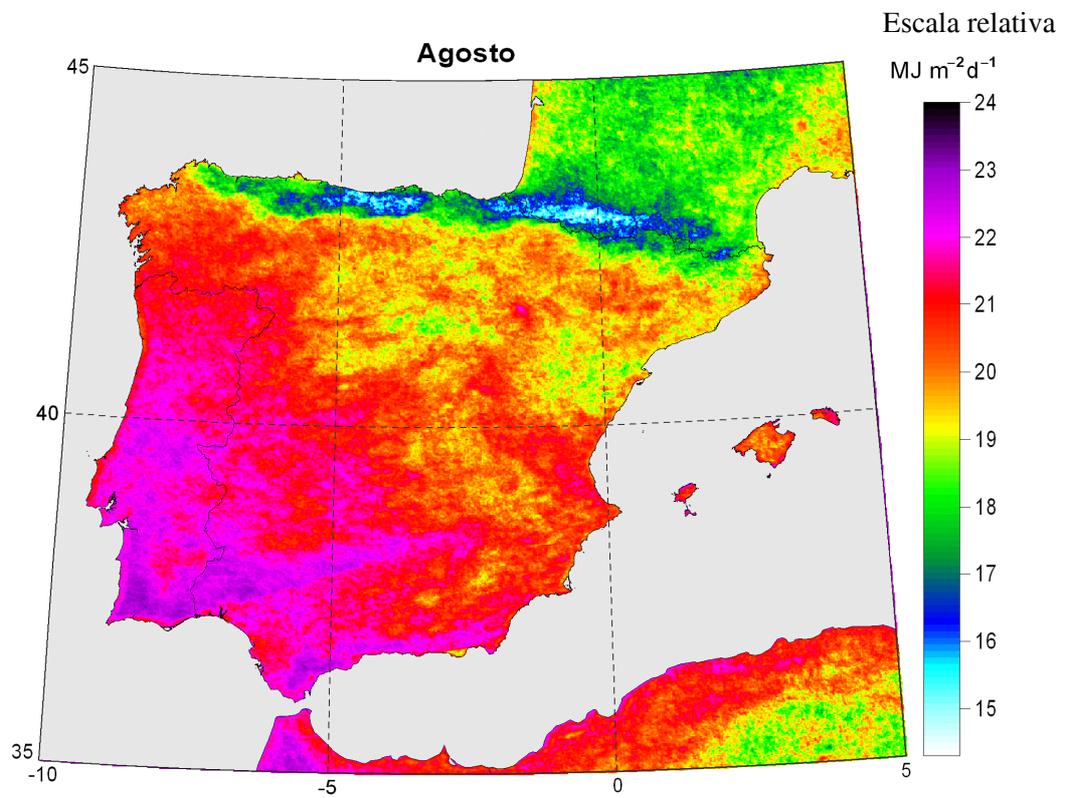
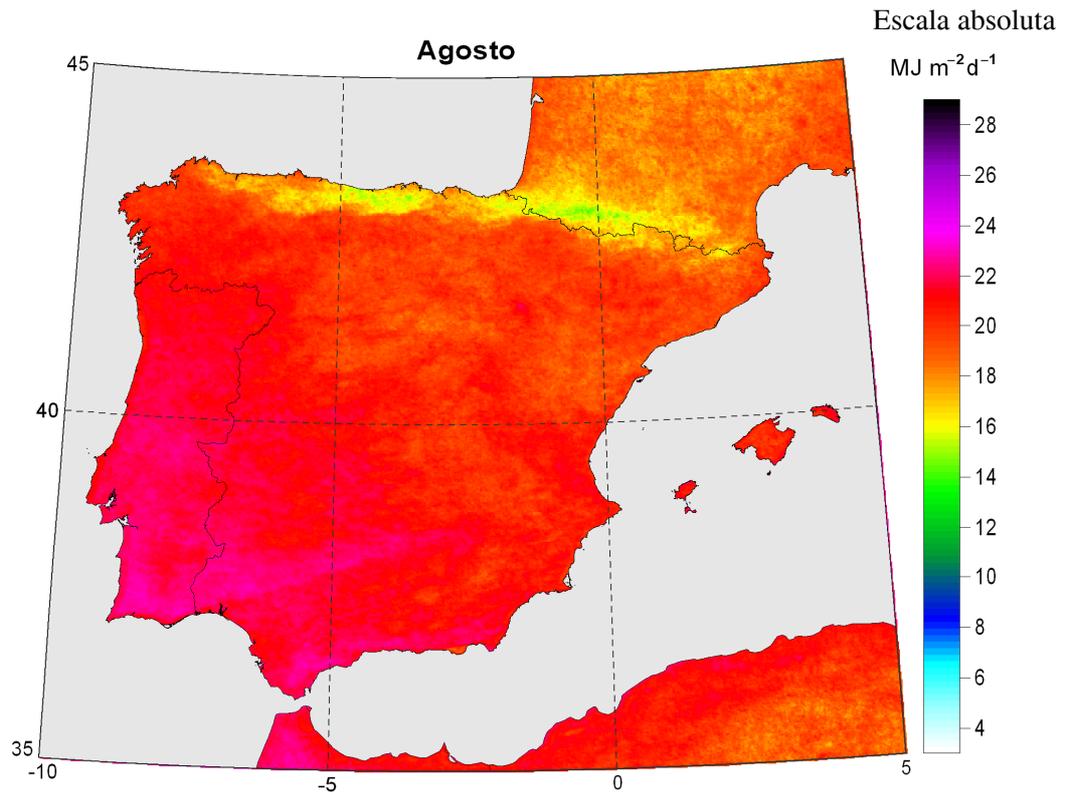


Figura 7.24: Mapas de la irradiación solar diaria media de agosto - año medio

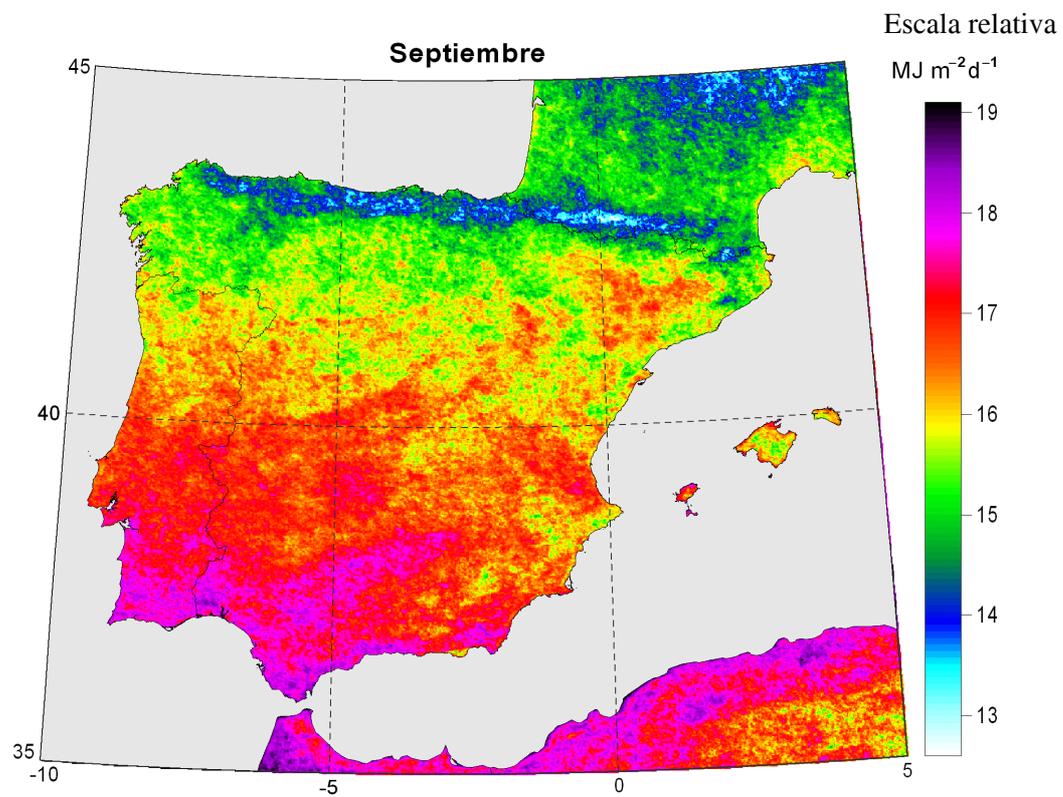
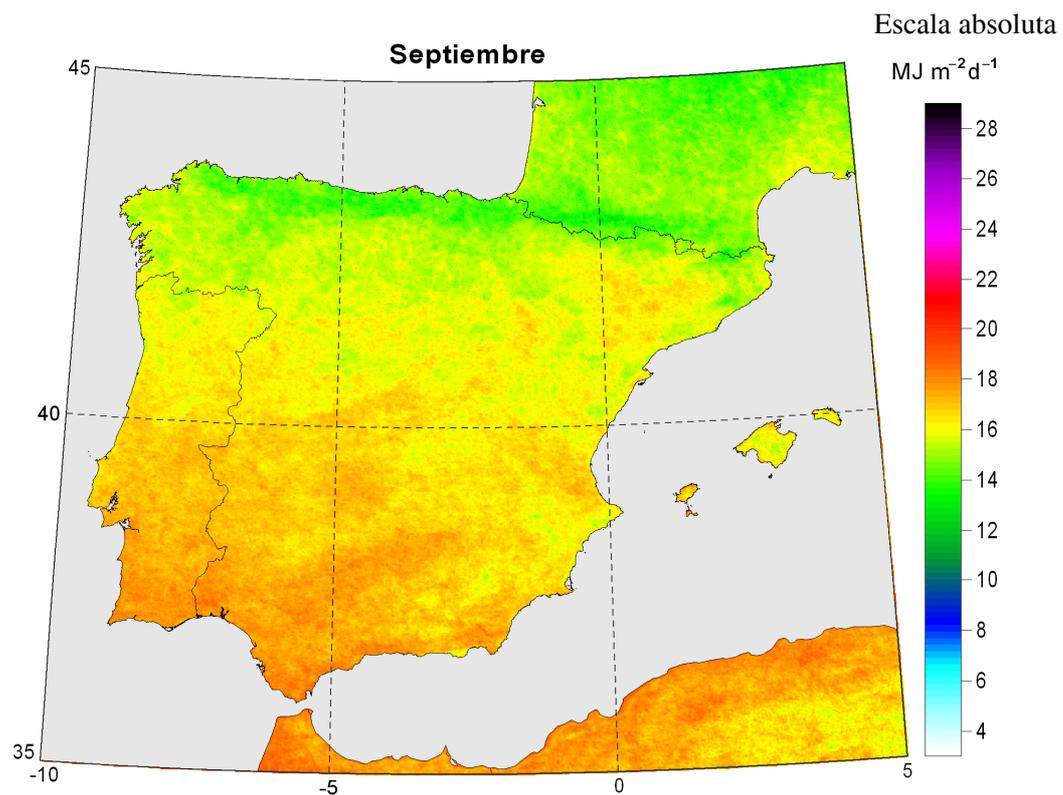


Figura 7.25: Mapas de la irradiación solar diaria media de septiembre - año medio

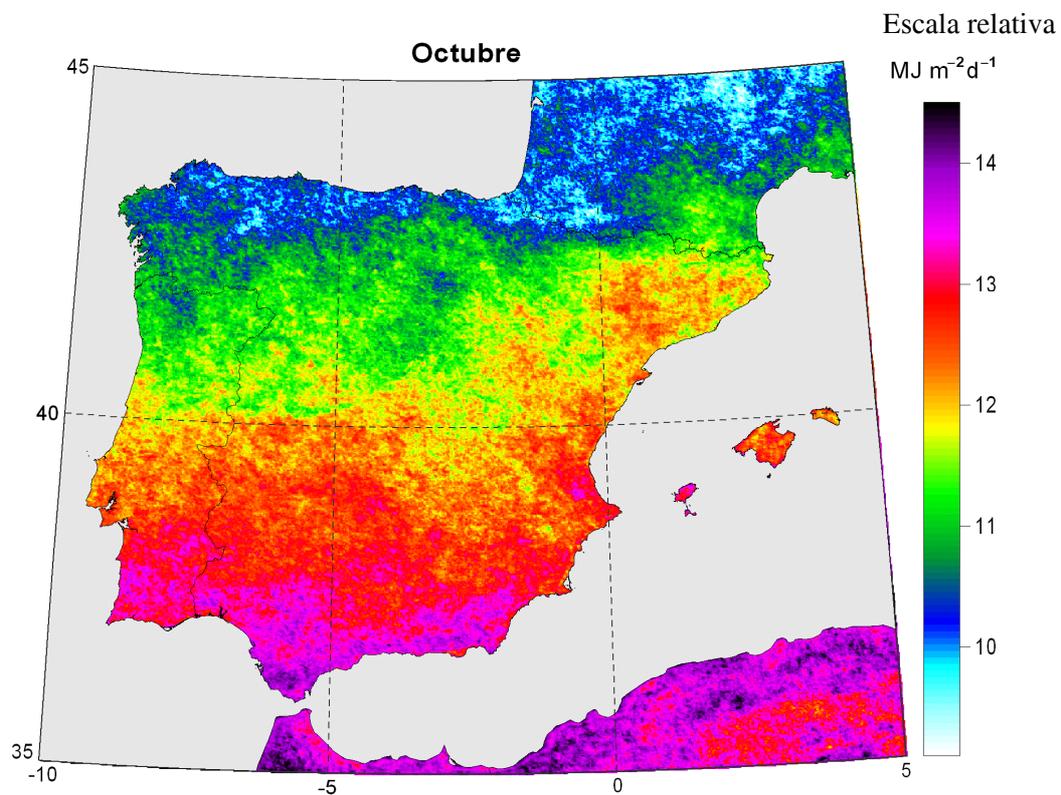
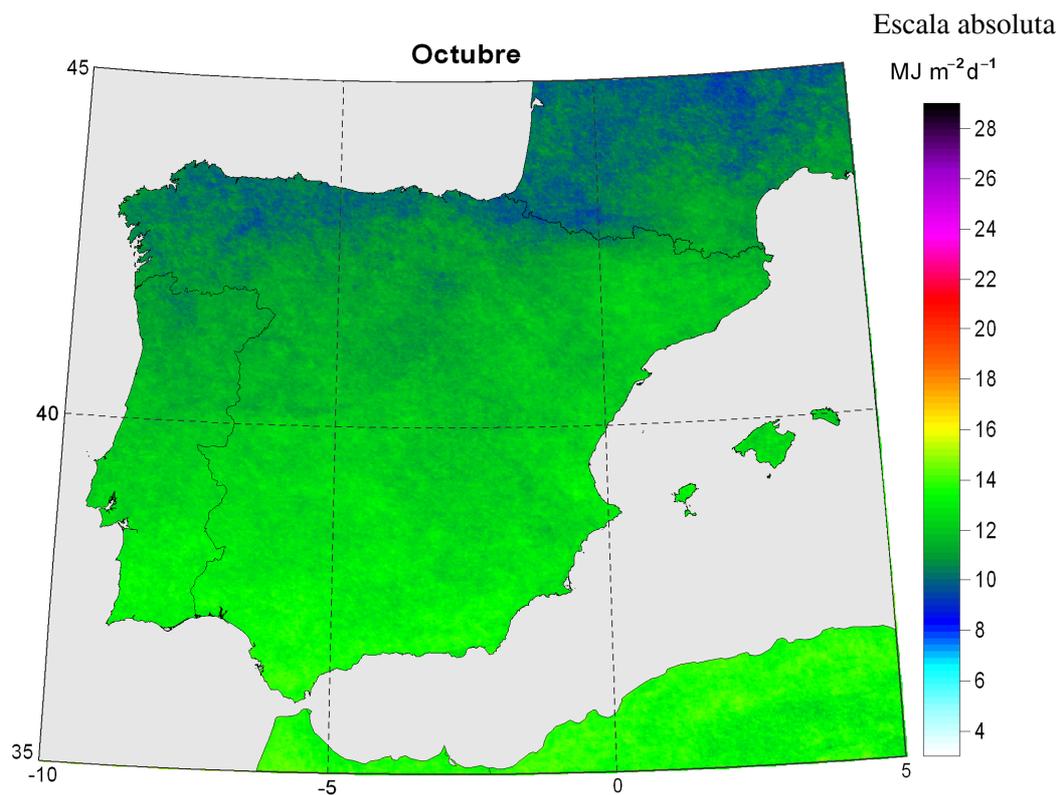


Figura 7.26: Mapas de la irradiación solar diaria media de octubre - año medio

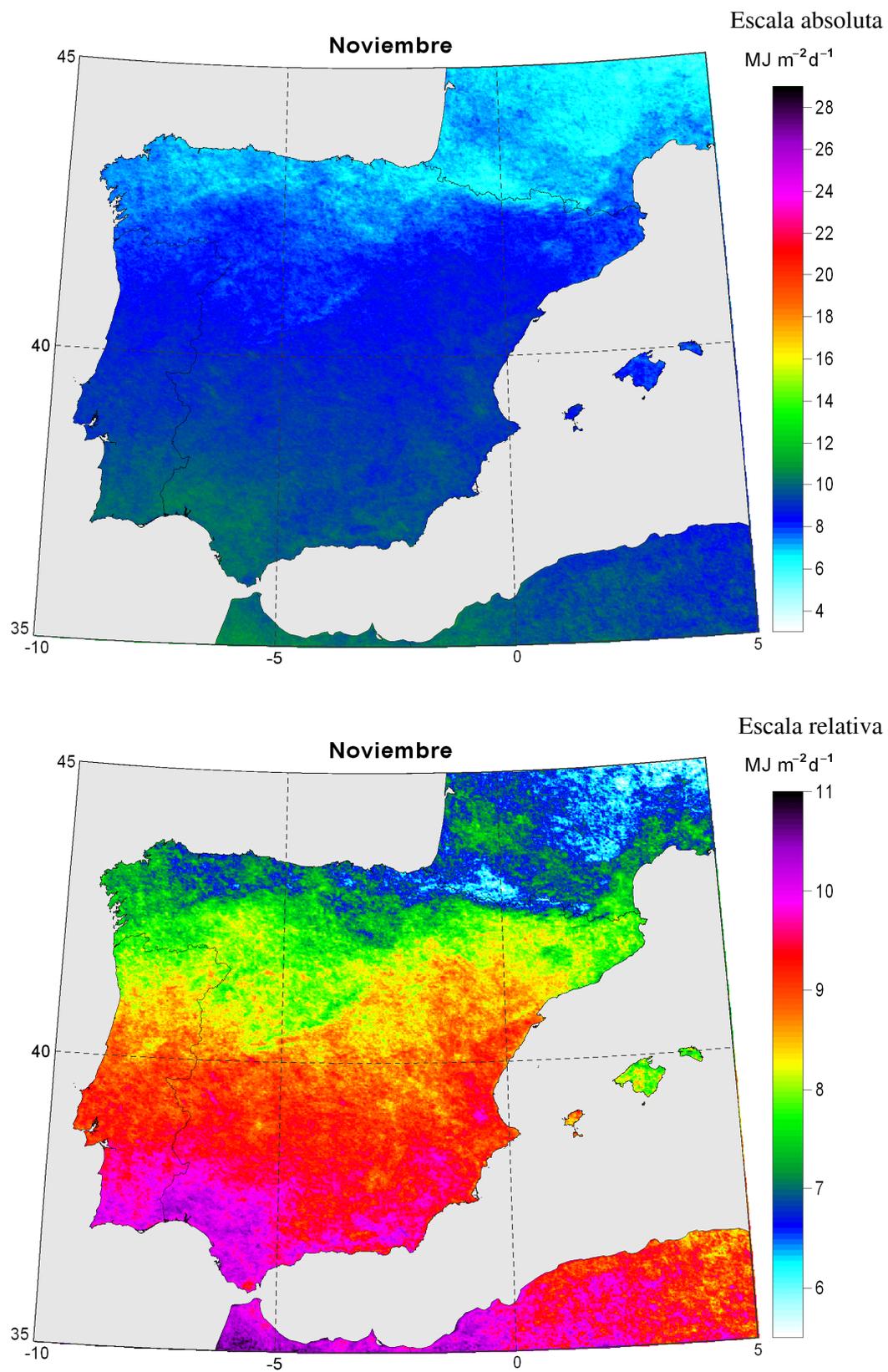


Figura 7.27: Mapas de la irradiación solar diaria media de noviembre - año medio

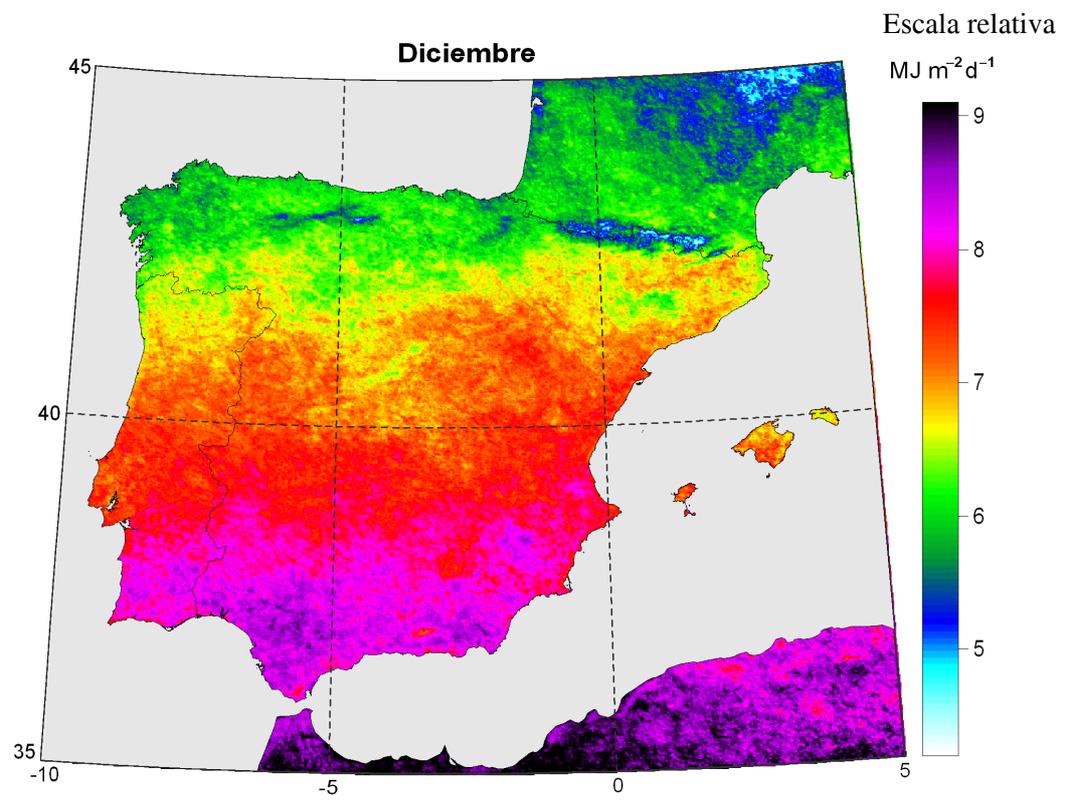
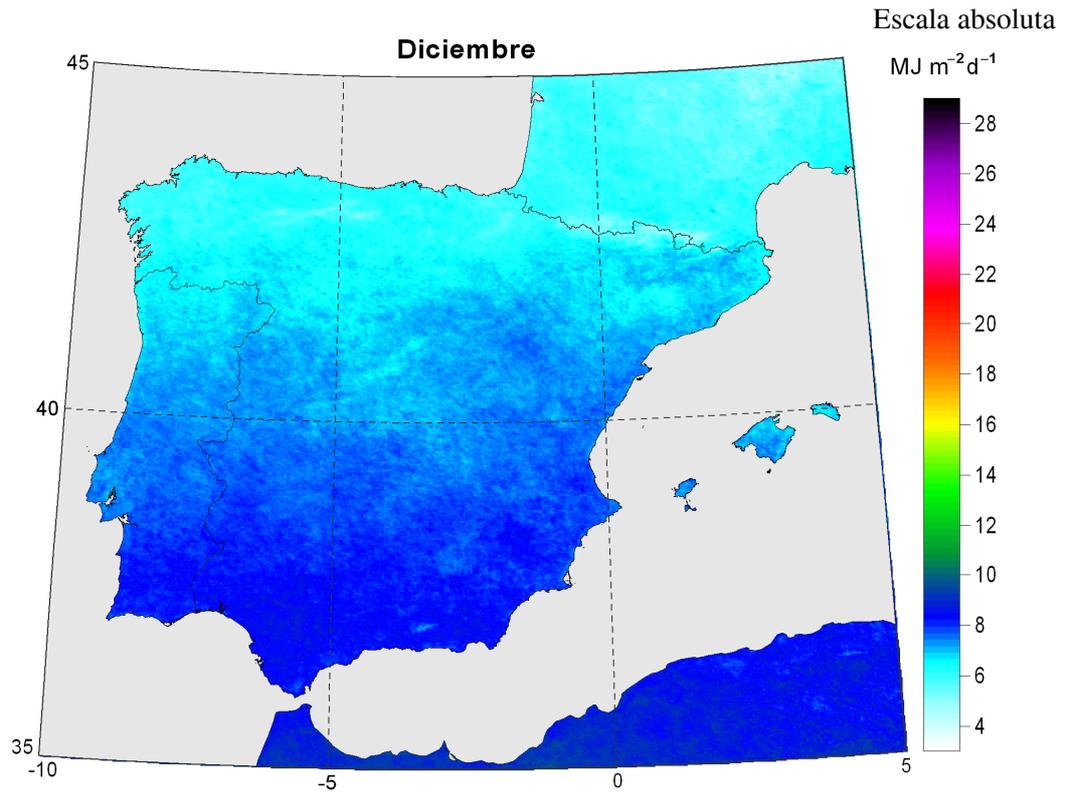


Figura 7.28: Mapas de la irradiación solar diaria media de junio - año medio

Tabla 7.23: Valores máximos, mínimos y medios de irradiación solar diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) para el año medio

Mes	mínimo	máximo	medio
Enero	4.8	10.1	7.9
Febrero	6.6	13.2	11.1
Marzo	8.8	17.0	14.3
Abril	10.8	21.4	17.0
Mayo	13.5	23.4	19.5
Junio	15.5	26.0	23.0
Julio	15.9	25.7	22.9
Agosto	14.3	23.3	20.5
Septiembre	12.6	19.1	16.2
Octubre	9.1	14.5	11.9
Noviembre	5.5	10.8	8.5
Diciembre	4.2	9.1	7.2
Media	11.1	17.6	15.0

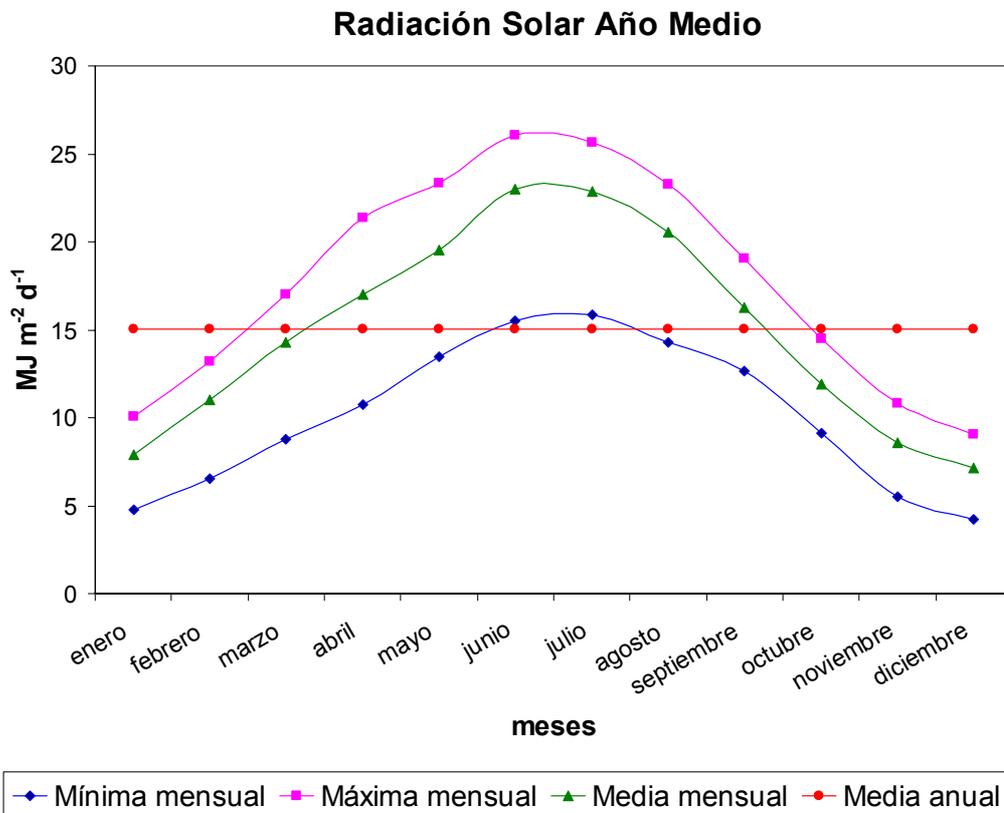


Figura 7.29: Variación mensual de la irradiación solar diaria para el año medio

En la Figura 7.16 se presenta el mapa de la irradiación solar diaria media anual (para el año medio), se observa claramente la variación espacial de la irradiación solar sobre la zona de estudio, con valores mínimos relativos cercanos a $11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la Cordillera Cantábrica, especialmente en Cantabria y parte de Asturias, y en Guipúzcoa y Navarra. Los valores máximos relativos cercanos a $17.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se dan en casi toda la costa Andaluza, principalmente en Huelva, Cádiz y Almería, y en la depresión del Guadalquivir. Valores del orden de $16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se observan para la mayor parte de Extremadura, Madrid y Valencia, otros valores algo menores se dan en Zaragoza, en la depresión central Catalana (Lleida) y en Tarragona. Valores del orden de $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se observan en la parte más alta de la Submeseta Central (Albacete y parte de Toledo y Cuenca), otros valores similares se dan en los Sistemas Béticos, especialmente en el monte Mulhacén (el más alto de la Península Ibérica). Valores cercanos a $14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se dan en Galicia, en la Submeseta Norte y en la parte norte de la depresión del Ebro. En las Islas Baleares la irradiación solar varía aproximadamente entre 14.5 y $16.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, los mayores valores se dan para Ibiza y Formentera y luego, de similar forma, para Mallorca y Menorca.

Esta distribución se puede observar muy similarmente en la mayoría de los mapas, los valores mínimos en el norte de la Península: Cordillera Cantábrica y Pirineos, los valores máximos en el tercio sur, principalmente Andalucía, luego Extremadura y en menor medida Valencia, y en el resto de la Península valores intermedios (en orden ascendente): Galicia, Submeseta Norte, Submeseta Central y similarmente en la depresión central Catalana y las Islas Baleares.

En las Figuras 7.17 a la 7.28 se observa claramente la variación estacional de la irradiación solar diaria, al presentar valores mínimos para el mes de diciembre coincidiendo con el solsticio de invierno, estos valores oscilan alrededor de $4.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y se ubican especialmente en los Pirineos y en la parte más alta de la Cordillera Cantábrica, debido principalmente a la persistencia de nubosidad durante los meses de invierno. Los valores máximos se presentan similarmente para los meses de junio y julio, asociados al solsticio de verano y están alrededor de $26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en cuanto a su distribución espacial se registran en la costa de Andalucía y en la depresión del Guadalquivir.

Para el mes de enero se tiene que los valores varía entre 4.8 y $10.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, mostrando un valor medio de $7.9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el mapa aparece con mínimos relativos en toda la zona pirineica. Se aprecia la influencia de la Cordillera Cantábrica, los Montes de Toledo, la Sierra de Gredos y muy notoriamente el monte Mulhacén.

Para el mes de febrero los valores varían entre 6.6 y $13.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el valor medio de irradiación solar se encuentra alrededor de $11.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En este mes se

aprecia una distribución espacial muy similar al mes de enero, con un contraste algo mayor en las Mesetas.

Para el mes de marzo los valores de irradiación solar siguen en aumento. El valor medio de irradiación solar es del orden de $14.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. La distribución espacial es similar al explicado anteriormente.

Abril presenta valores medios de irradiación solar que se encuentran alrededor de $17.0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Se observa un aumento de la irradiación solar especialmente en toda la zona costera sur incluido el país Valenciano y la depresión del Ebro.

Para el mes de mayo se tiene valores medios de irradiación solar del orden de $19.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Se observa un comportamiento similar al mes anterior con un aumento proporcional de la irradiación solar. Aparecen máximos relativos en la zona de Zaragoza y Soria.

Junio presenta los mayores valores de irradiación solar, mostrando una media de alrededor de $23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a partir de este mes en adelante comienzan a disminuir los valores de irradiación solar, así para el mes de julio tenemos un valor medio levemente inferior del orden de $22.9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Se observan valores de irradiación solar superior a $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ excepto en la Cordillera Cantábrica y en los Pirineos.

Para el mes de agosto se registran valores medios de irradiación solar del orden de $20.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Se observa una ligera disminución en la irradiación solar principalmente en la zona nordeste de la Península, Cataluña, Aragón y parte de Castilla y León, y en las Mesetas Norte y Central.

Septiembre, octubre y noviembre muestra claramente el descenso en la irradiación solar al registrar valores medios del orden de 16.2, 11.9 y $8.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectivamente. Presentando valores de irradiación solar muy uniformes, especialmente en la zona central de la Península.

Por último para diciembre muestra los valores mínimos de la irradiación solar, presentando una media del orden de $7.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Se observa nuevamente la distribución típica de los meses fríos, una irradiación solar muy baja en el norte de la Península (menores que $6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), valores máximos en el tercio sur de la Península (menores que $10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), y valores intermedios en la zona central.

7.6.2 Mapas de irradiación solar diaria años 1998-2002

En la Figura 7.30 y en la Tabla 7.24 se muestran los valores máximos, mínimos y medios mensuales para los años 1998 al 2002, desde enero a diciembre y luego el valor medio anual. En el Anexo G, desde la Figura 16.1 a la Figura 16.65 se muestra consecutivamente los mapas de irradiación solar global media diaria para los años 1998 al 2002, primero la irradiación solar media anual y luego la irradiación solar media mensual desde enero a diciembre, para cada uno en escala absoluta y en escala relativa.

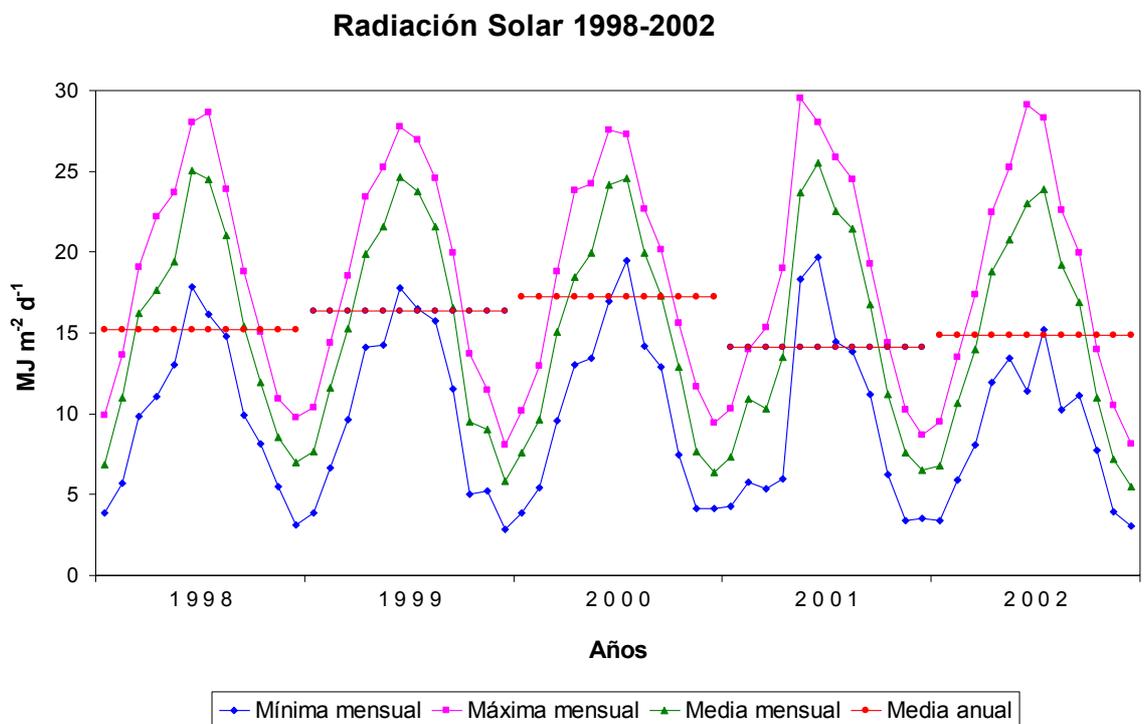


Figura 7.30: Variación interanual de la irradiación solar diaria media para el período 1998-2002

Tabla 7.24: Valores mínimos, máximos y medios de irradiación solar diaria media ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) para toda el área de estudio

Mes	1998			1999			2000			2001			2002		
	mínima	máxima	media												
Enero	3.8	9.9	6.9	3.8	10.4	7.7	3.9	10.1	7.6	4.3	10.3	7.3	3.4	9.5	6.8
Febrero	5.7	13.6	11.0	6.6	14.4	11.6	5.4	12.9	9.6	5.8	14.0	10.9	5.9	13.5	10.7
Marzo	9.9	19.1	16.2	9.6	18.6	15.3	9.6	18.8	15.1	5.4	15.4	10.3	8.1	17.4	14.0
Abril	11.0	22.2	17.6	14.1	23.4	19.9	13.0	23.8	18.5	5.9	19.0	13.5	12.0	22.5	18.8
Mayo	13.0	23.7	19.4	14.3	25.2	21.6	13.5	24.2	19.9	18.3	29.5	23.7	13.4	25.2	20.8
Junio	17.9	28.1	25.0	17.8	27.8	24.7	16.9	27.6	24.2	19.7	28.1	25.5	11.4	29.1	23.0
Julio	16.2	28.6	24.5	16.5	27.0	23.8	19.5	27.3	24.5	14.4	25.9	22.5	15.2	28.3	23.9
Agosto	14.8	23.9	21.1	15.8	24.6	21.6	14.2	22.7	19.9	13.8	24.5	21.4	10.3	22.6	19.2
Septiembre	9.9	18.8	15.4	11.5	20.0	16.6	12.9	20.1	17.3	11.2	19.2	16.8	11.1	19.9	16.9
Octubre	8.1	15.1	11.9	5.0	13.7	9.5	7.5	15.6	12.9	6.3	14.4	11.2	7.7	14.0	11.0
Noviembre	5.5	11.0	8.5	5.2	11.5	9.0	4.1	11.7	7.7	3.4	10.2	7.6	4.0	10.5	7.2
Diciembre	3.1	9.8	7.0	2.8	8.1	5.8	4.1	9.4	6.4	3.5	8.7	6.5	3.0	8.1	5.5
Media	12.3	17.3	15.2	13.2	17.9	16.3	14.4	19.3	17.3	11.2	15.9	14.1	11.6	17.0	14.9

En lo que se refiere a la evolución anual de la irradiación solar para el período 1998–2002 se observa que el comportamiento es similar que el descrito para el año medio, los valores mínimos se dan en general en el mes de diciembre, excepto para el año 2000 que ocurre en enero, los valores máximos se dan en los meses de junio o julio.

Se observa además la variación de la irradiación solar media anual, la cual aumenta desde 15.2, 16.3 y 17.3 MJ m⁻² d⁻¹ desde 1998 al 2000 respectivamente, luego disminuye a 14.1 MJ m⁻² d⁻¹ en el año 2001 y luego vuelve a aumentar en el año 2002 con un valor de 14.9 MJ m⁻² d⁻¹. La mayor variación ocurre justamente entre los años 2000 y 2001, con una diferencia de 3.2 MJ m⁻² d⁻¹, lo que corresponde a una disminución de un 18.3%, en cambio en los otros años la variación es positiva y en promedio es de 0.9 MJ m⁻² d⁻¹, lo que corresponde a un aumento de un 4.6%.

El resultado de irradiación solar máxima ocurrido en el año 2000 puede correlacionarse con el máximo de actividad solar ocurrido ese año, en cambio el mínimo ocurrido el año siguiente aparentemente no corresponde con lo esperable, esta discrepancia puede deberse a problemas en la adquisición de las imágenes por parte del satélite NOAA-14, que se vio reflejado por un número elevado de imágenes defectuosas, esto es con mucho ruido y gran cantidad de líneas perdidas, lo que hizo imposible su utilización.